NÚMERO MONOGRÁFICO

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Noviembre 2013 InvestigacionyCiencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

Donde convergen biología, cultura y tecnología

Alimentación

El debate sobre los cultivos **TRANSGÉNICOS**

Mecanismos cerebrales de la **OBESIDAD**

Visión desde la **SOCIOLOGÍA**





6,50 EUROS

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
ADICCIÓN A LA COMIDA | LA ALIMENTACIÓN EN ESPAÑA | DEBATE SOBRE LOS TRANSGÉNICOS
NOVIEMBRE 2013 N.º 446

Claves de la alimentación

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
Noviembre 2013, Número 446

INTRODUCCIÓN
18 ¿Qué hace que un alimento sepa bien? *Por Michael Moyer*



DIETA, CUERPO Y MENTE

NEUROCIENCIA
24 **Adicción a la comida**
Nuevas investigaciones sobre el cerebro revelan por qué las grasas y los azúcares hacen que cada vez más personas sufran obesidad. *Por Paul J. Kenny*

NUTRICIÓN
30 **¿Cuántas calorías aportan los alimentos?**
La digestión es un proceso demasiado complejo para poderla reflejar en números. Las calorías que indican las etiquetas de los alimentos pueden diferir enormemente de las que aprovechamos en realidad. *Por Rob Dunn*

EPIDEMIOLOGÍA
34 **Erradicar la obesidad**
El conocimiento actual sobre las causas de la obesidad nos permitiría mantener a raya la epidemia. Sin embargo, falta una voluntad política fuerte a escala internacional. *Por David Meyre y Philippe Froguel*



DEL FUEGO A LA COCINA

INNOVACIÓN
44 **Millones de años de comida procesada**
Un resumen de los alimentos preparados más destacados. *Por Evelyn Kim*

ANTROPOLOGÍA
50 **El primer asado**
Hace casi dos millones de años, nuestros ancestros comenzaron a cocinar alimentos. Según el antropólogo Richard Wrangham, ello nos hizo humanos. *Por Kate Wong*

SOCIOLOGÍA
54 **La alimentación en la sociedad española**
¿Cabe esperar un cambio radical de hábitos? *Por Cecilia Díaz Méndez*

PSICOLOGÍA
62 **La mente de los vegetarianos**
Quienes renuncian a la carne gozan de una mayor empatía. *Por Claudia Christine Wolf*



CULTIVAR EL PLANETA

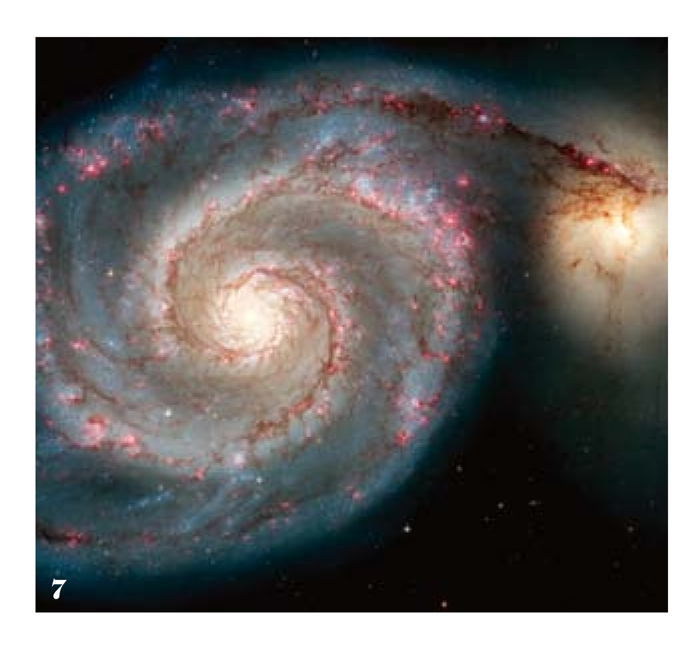
MICROBIOLOGÍA
68 **Tierra prodigiosa**
Movilizar las bacterias y los hongos del suelo en provecho de los cultivos supone una alternativa al uso intensivo de abonos y plaguicidas. *Por Richard Conniff*

BIOTECNOLOGÍA
72 **Cultivos transgénicos: sigue el debate**
¿Son la única vía para paliar el hambre en el mundo o un experimento planetario no controlado? *Por David H. Freedman*

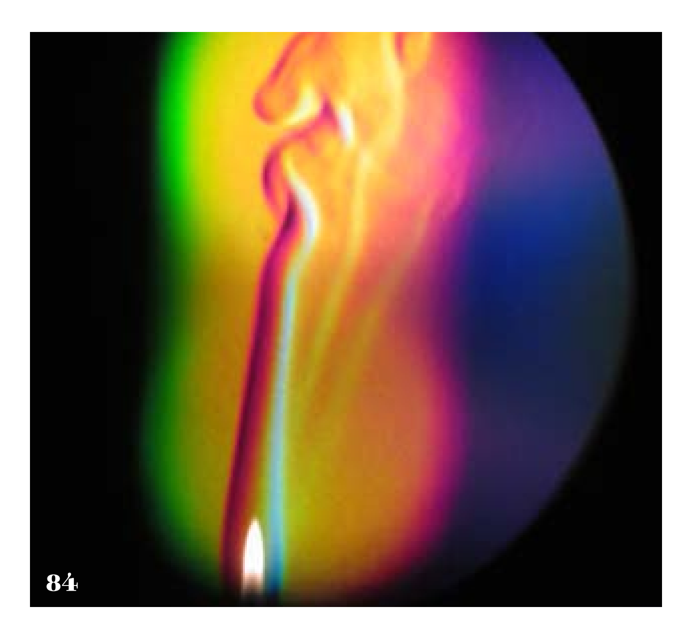
76 **Los cultivos transgénicos en Europa**
Por Pere Puigdomènech

AGRICULTURA
80 **Un ensayo agrícola a gran escala**
China está empleando la modelización ecosistémica para rediseñar su sistema de cultivos. Las mejoras podrían aplicarse a otros países. *Por Fusuo Zhang, Xinping Chen y Peter Vitousek*

THINKSTOCK, MODIFICADO POR *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*


7


40


84

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

3 **Cartas de los lectores**

4 **Apuntes**
Los buitres se enfrentan a la extinción... y a la indiferencia. Detección mediante fluorescencia del aceite de roble venenoso. Un misterio microbiano. Trasplante de corazón. Fisuras en Tierra Santa. La evolución de las espumas. *Sayonara*, supergigante. Una nueva carrera hasta el fin del mundo. Bisturís de plasma. Alertar a las tortugas.

9 **Agenda**

10 **Panorama**
El cambio climático se sienta a la mesa. *Por Mark Payne*
El tamaño de un átomo. *Por Paul Indelicato y Alexander Karpov*
La historia de los gitanos europeos. *Por Isabel Mendizabal y David Comas*
Evaluación integral del riesgo sísmico. *Por Martha Liliana Carreño, Alex H. Barbat y Omar D. Cardona*

38 **Filosofía de la ciencia**
La falacia naturalista. *Por Cristian Saborido*

40 **De cerca**
La dispersión de las semillas. *Por Roser Guàrdia*

42 **Foro científico**
Ciencia y alimentación ecológica. *Por José Miguel Mulet*

84 **Taller y laboratorio**
La cámara Schlieren: ver lo invisible. *Por Marc Boada*

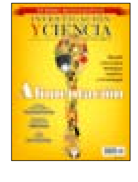
88 **Juegos matemáticos**
¿Cómo entender los condicionales? *Por Alejandro Pérez Carballo*

90 **Libros**
Neurogastronomía. *Por Luis Alonso*
Agricultura ecológica. *Por Thomas Lepeltier*
Álgebra digital. *Por Luis Alonso*
Astronomía. *Por Luis Alonso*

96 **Hace...**
50, 100 y 150 años.

EN PORTADA

¿Por qué comemos lo que comemos? ¿Cómo afecta a nuestro organismo? Nos proponemos en este número especial desgranar los múltiples ingredientes de la alimentación humana: aspectos nutricionales, evolución de la dieta y los hábitos alimentarios, formas de consumo, técnicas culinarias, sistemas de producción agraria y muchos más. Fotografías de Dan Saelinger. Diseño de Dominique Baynes.



redaccion@investigacionyciencia.es



Junio 2013

EXOPLANETA FANTASMA

En «El primer exoplaneta» [«Hace 50, 100 y 150 años»; Investigación y Ciencia, junio de 2013], Daniel C. Schlenoff recupera un extracto de 1963 en el que se narra el supuesto hallazgo por parte de Peter van de Kamp de un planeta en torno a la estrella de Barnard.

Hoy en día tal descubrimiento se tiene por erróneo. Las observaciones posteriores no pudieron verificar la existencia del objeto con la misma técnica empleada por Van de Kamp; es decir, mediante el examen de las imágenes correspondientes, a fin de detectar ligeras variaciones en la posición del astro que pudieran atribuirse a un planeta vecino. Se cree que las mediciones de Van de Kamp adolecían de errores sistemáticos, debido a los ajustes y modificaciones introducidos en su telescopio. Esta técnica, denominada astrometría, proporciona un método viable para detectar exoplanetas, pero no resulta nada sencilla de aplicar. Hoy en día tales búsquedas se llevan a cabo mediante la detección de desplazamientos Doppler.

Tom R. Marsh
Departamento de Física
Universidad de Warwick

RELACIONES ANCESTRALES

Según «Híbridos humanos», de Michael F. Hammer [Investigación y Ciencia, julio de 2013], las especies humanas modernas y las arcaicas ya extintas, como los neandertales, se habrían hibridado y engendrado descendencia fértil. ¿No implica ello que los humanos actuales y los neandertales pertenecerían a una misma especie?

Chantelle Tait
Clifton, Virginia

En su artículo, Hammer deja abierta la pregunta acerca del proceso mediante el cual *Homo sapiens* reemplazó a los neandertales. Al mismo tiempo, plantea la posibilidad de que algunos humanos no africanos contemporáneos recibieran la secuencia genética antivírica *STAT2* a partir de una hibridación entre *H. sapiens* y neandertales. ¿Sería posible que los humanos modernos provocaran la extinción de los neandertales como consecuencia de los agentes patógenos que llevaban consigo (como ocurrió cuando los europeos llegaron al Nuevo Mundo) y que la razón de que algunos humanos actuales retengan el gen *STAT2* se deba a que solo los neandertales que lo poseían sobrevivieron lo suficiente para mezclarse en grado considerable con los invasores infestados de virus?

Doug McAfee
Bothell, Washington

Responde Hammer: *Aunque ciertos paleoantropólogos creen que los neandertales deberían considerarse una especie del género* Homo *diferente de la nuestra, otros muchos creen que se trataría de una subespecie de* Homo sapiens. *Las opiniones al respecto dependen de la postura que se adopte sobre del origen de los humanos anatómicamente modernos (HAM); es decir, de si aceptamos la teoría del reemplazo o, en cambio, nos decantamos por la de asimilación e hibridación. Por otro lado, numerosos mamíferos cuya divergencia es tan reciente como la que existe entre nosotros y los neandertales se consideran especies distintas, pero son capaces de cruzarse y engendrar descendencia fértil.*

La propuesta de McAfee resulta interesante. Sin embargo, lo más probable es que los HAM procedentes de África fuesen más vulnerables a los nuevos patógenos que encontraron en Europa de lo que lo fueron los neandertales a los agentes de los emigrantes africanos. Al contrario que los conquistadores del Nuevo Mundo, los primeros HAM que llegaron de África debían portar relativamente pocos patógenos, ya que provenían de pequeños grupos de cazadores y recolectores: la densidad de estos últimos era mucho menor que la de las comunidades agrícolas que aparecieron miles de años más tarde y, además, sus integrantes no habrían estado expuestos a los agentes procedentes de animales domesticados. Quienes hoy en día aún retienen el gen SAT2 *y otras variantes inmunitarias probablemente lo hayan adquirido de los neandertales porque dicho ADN ayudó a los HAM procedentes de África a sobrevivir en su nuevo hábitat.*

ESTADÍSTICA CELESTIAL

En «Prever el próximo Cheliábinsk» [Investigación y Ciencia, agosto de 2013], John Matson analiza los posibles impactos de meteoritos: «Con todo, dado que los sucesos similares al de Cheliábinsk ocurren de media una vez al siglo, cabe esperar que cuando caiga el próximo la humanidad ya cuente con técnicas más eficaces». La frase parece apoyar el malentendido común de que, si algo sucede con una frecuencia de una vez por siglo, tardará cien años en repetirse. Para que así fuese, los meteoritos deberían poseer memoria colectiva.

Si los impactos de meteoritos son aleatorios e independientes, y si adoptan una distribución de Poisson con un promedio de uno cada cien años, la probabilidad de que tenga lugar un impacto en un año cualquiera rondará el uno por ciento con independencia de cuándo haya ocurrido el último impacto.

Mark Nicolich
West Amwell, Nueva Jersey

Erratum corrige

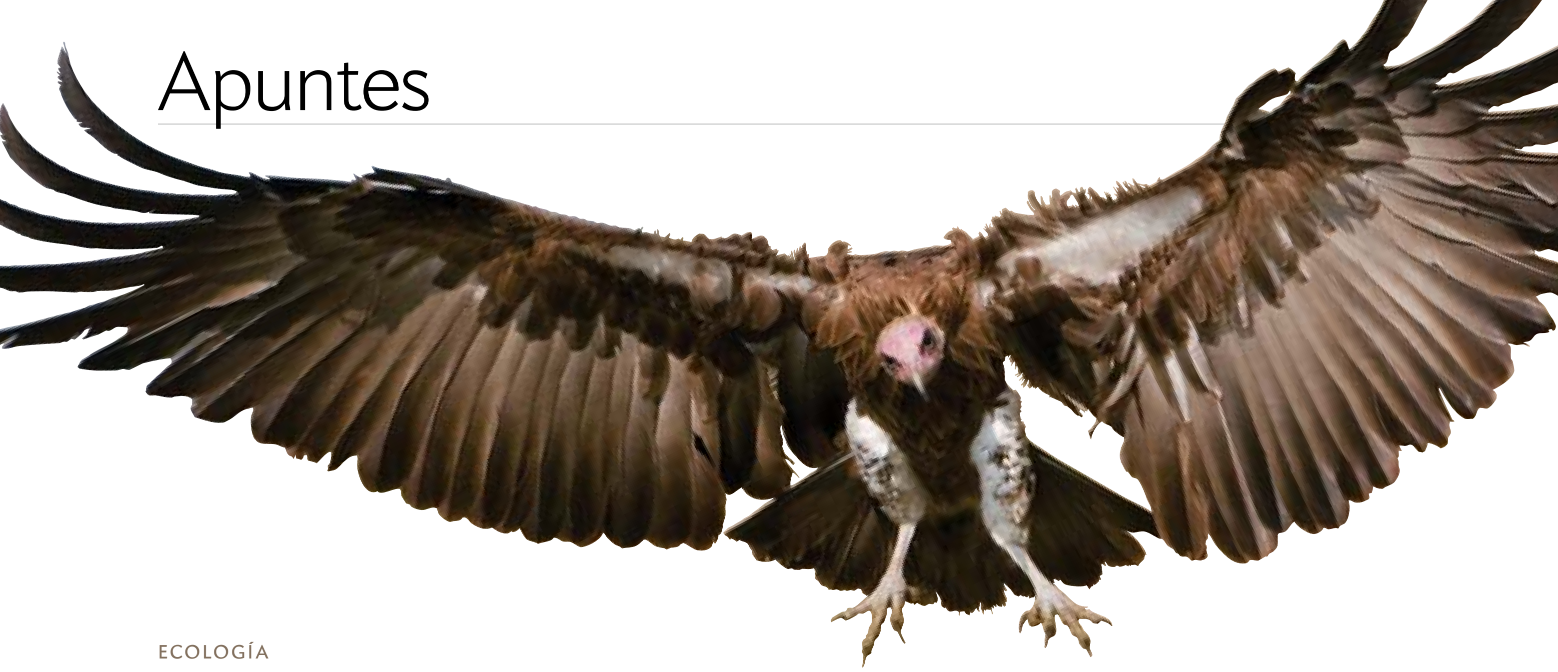
Como señala nuestro lector Fernando Llavador Colomer, en el artículo «Historias del calendario» [por Norbert Treitz; Investigación y Ciencia, octubre de 2013] se indica erróneamente que «la Semana Santa comienza el domingo posterior a la primera luna llena de primavera». En realidad, ese domingo es el Domingo de Resurrección. La Semana Santa da comienzo el domingo previo.

CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:
PRENSA CIENTÍFICA, S.A.
Muntaner 339, pral. 1.ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.

Apuntes



ECOLOGÍA

Los buitres se enfrentan a la extinción... y a la indiferencia

Los buitres tienen un problema de imagen. Charles Darwin no les hizo ningún favor cuando, al ver un buitre americano cabecirrojo desde la cubierta del *Beagle* en 1835, lo calificó de «ave repugnante» dotada de una cabeza calva «para hurgar en la podredumbre». A pesar de su función vital de limpieza, los buitres no son tan agraciados como los osos polares, ni inspiran el mismo interés cuando se ven amenazados por la extinción, un riesgo que corre la mitad de las veintitrés especies de buitres del mundo.

En Asia, la carroña de ganado repleta del calmante diclofenaco acabó con el 95 por ciento de tres especies de buitres en solo quince años, antes de que varios países comenzaran a prohibir el medicamento en 2006. Los buitres africanos están desapareciendo a la misma velocidad. Un estudio del año pasado demostró hasta un 33 por ciento de mortalidad anual en algunas especies de África oriental. La crisis provocó la celebración de la primera Cumbre Panafricana sobre el Buitre en 2012, pero posteriormente no se han tomado medidas políticas sobre el tema.

«Un científico del Servicio de Vida Silvestre de Kenia nos contó hace poco que su equipo estaba tan ocupado intentando salvar a los elefantes y rinocerontes que, cuando les tocaba a los buitres, se hallaban demasiado cansados para protegerlos», relata Darcy Ogada, de la organización no gubernamental Fondo Peregrino. Él y sus colaboradores han documentado cifras de mortalidad asombrosas: en las zonas rurales de África occidental, las poblaciones de casi todas las especies de buitres han disminuido un 95 por ciento en los últimos treinta años.

Salvar a los buitres africanos requerirá más que la simple prohibición de un medicamento. En África oriental, estas rapaces son perseguidas por los furtivos (ya que los cazadores de marfil las matan para que no acudan a los animales muertos y se descubran así las zonas de caza furtiva) y además sufren otros daños colaterales (al ser envenenadas por pastores que quieren acabar con los depredadores que amenazan a su ganado, como las hienas y los leones). En África occidental, la carne de buitre se vende como alimento o para fabricar pócimas de clarividencia para el comercio de medicinas indígenas. Las centrales eólicas y los cables eléctricos suponen una amenaza adicional y creciente.

A medida que las poblaciones de buitres siguen disminuyendo, los especialistas en aves rapaces evalúan las consecuencias. En la India, parece haberse producido un gran aumento del número de ratas y perros salvajes, que a menudo son portadores de la leptospirosis y la rabia. Los economistas ambientales han estimado que los costes sanitarios asociados a la falta de buitres en la India han alcanzado los 34.000 millones de dólares a lo largo de catorce años. Los buitres africanos consumen los cadáveres del ganado y de los ñus migratorios, por lo que terminan con diversos patógenos, como el carbunco. «Si desaparecieran, nos encontraríamos con una bomba de relojería de transmisión de enfermedades», afirma Munir Virani, del Fondo Peregrino.

Por su parte, Ogada está desarrollando nuevas formas de rastrear el contagio de enfermedades a través de la carroña. Al cuantificar los costes que supone la desaparición de los buitres para la sanidad pública, espera animar a los Gobiernos a que actúen para impedir su extinción. *—Shruti Ravindran*

PATENTES

Detección mediante fluorescencia del aceite de roble venenoso: Decenas de millones de estadounidenses sufren cada año los efectos del urushiol, un alérgeno oleaginoso producido por plantas del género *Toxicodendron* (roble venenoso, hiedra venenosa). Un leve roce de la piel con follaje, ropas o pelo impregnados de urushiol es suficiente para desencadenar una reacción alérgica; cuando empieza el picor, ya es demasiado tarde para evitar la erupción. Tras un encuentro particularmente desagradable con un roble venenoso, Rebecca Braslau, de la Universidad de California en Santa Cruz, decidió contraatacar utilizando la ciencia. «Soy química, así que debería poder hacer algo», pensó. La patente número 8.389.232 B2 describe con detalle su invención: una sustancia fluorescente en presencia de urushiol, que alerta de la presencia del alérgeno. Se trata de un aerosol que puede aplicarse a la ropa y las herramientas. Al iluminar con una luz fluorescente las zonas rociadas, los aceites brillan con un tono azul. Se espera que las pruebas sobre piel humana comiencen pronto. La invención, afirma Braslau, podría ayudar a excursionistas, bomberos, servicios de rescate, granjeros y a cualquiera que pase tiempo en el campo. *—Arielle Duhaime-Ross*

SHEM COMPION, GETTY IMAGES (*buitre*); THINKSTOCK (*hojas*)

MICROBIOLOGÍA

Un misterio microbiano

Los microbios son bichos raros. Durante mucho tiempo se pensó que los antibióticos mataban a las bacterias de formas diversas y específicas, afectando bien a la replicación del ADN procariota, bien a la síntesis de proteínas bacterianas. Sin embargo, James Collins, de la Universidad de Boston, publicó en 2007 datos que negaban que esos mecanismos fueran la causa de la muerte de los microorganismos. El estudio realizado por su equipo sugiere que los antibióticos dañan a las bacterias mediante un mecanismo común: aumentan los niveles celulares de especies reactivas del oxígeno (ERO), moléculas que corroen el ADN de estos organismos, con efectos letales.

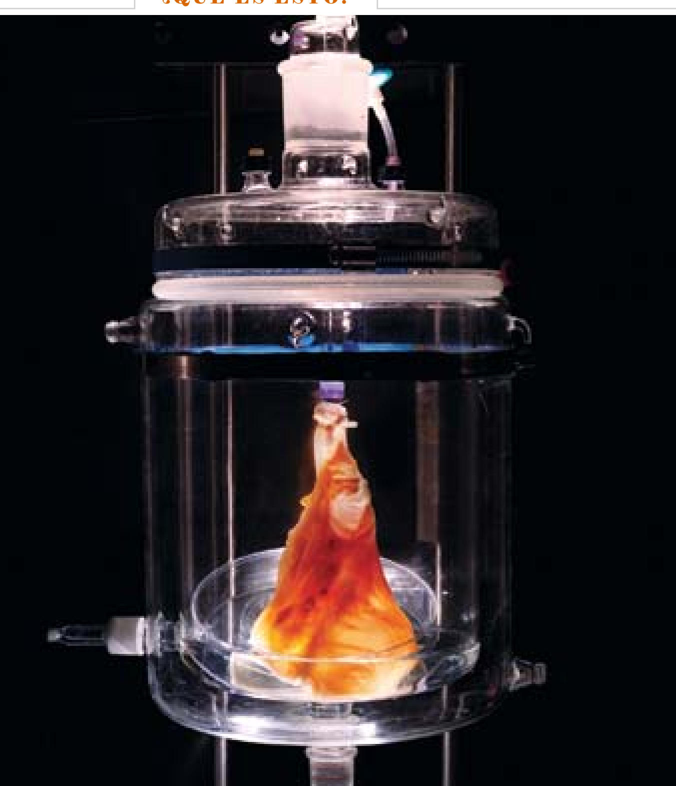
La teoría de Collins se está revisando. En marzo, dos equipos independientes publicaron sendos artículos en *Science* demostrando que los antibióticos pueden matar a las bacterias en condiciones anoxigénicas, algo que sería imposible si Collins estuviera en lo cierto, ya que la producción de ERO depende de la presencia de oxígeno. Los dos grupos también encontraron que ciertas bacterias modificadas genéticamente para carecer de antioxidantes intrínsecos, sustancias que protegen contra las ERO, no eran más sensibles a los antibióticos que las bacterias normales.

¿Cuál podría ser la explicación de esas discrepancias? Un comentario publicado en mayo en *Nature Biotechnology* afirma que, debido a que los equipos usaron matraces y protocolos diferentes, los cultivos bacterianos podrían haberse expuesto a niveles de oxígeno distintos, lo que invalidaría sus resultados. Otros estudios sugieren que un marcador molecular utilizado por el grupo de Collins para marcar las ERO podría no ser adecuado, porque no discrimina entre ERO y otras moléculas inofensivas que también reconoce. Colin Manoil, especialista en genómica de la Universidad de Washington, piensa que el grupo de Collins podría, simplemente, haber malinterpretado sus resultados. «Es un problema de causa y efecto», afirma. Incluso si las ERO se produjesen en bacterias moribundas, podrían ser el resultado de la muerte inminente, y no una causa de la misma.

Este debate es un recordatorio de que incluso los microbios pueden ser impredeciblemente complejos. «A veces, acudimos a enfoques experimentales que no son tan específicos como nos gustaría», comenta James Imlay, microbiólogo de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y coautor de uno de los estudios aparecidos en la revista *Science*.

—Melinda Wenner Moyer

¿QUÉ ES ESTO?



Trasplante de corazón. Aunque su propietario original ya no está vivo, este corazón humano podría volver a latir pronto. Harald Ott y sus colaboradores del Hospital General de Massachusetts están adaptando el órgano con el objeto de utilizarlo en un trasplante. El corazón ha sido reducido a un mero andamiaje de proteínas estructurales, de modo que pueda ser repoblado con nuevas células madre compatibles con el sistema inmunitario del receptor. La técnica podría aumentar el número de corazones disponibles para trasplantes, en parte porque permite que las células humanas crezcan en andamiajes cardiacos procedentes de otros animales, como los cerdos.

Un proceso similar de ingeniería ha tenido éxito con órganos huecos más sencillos, como las vejigas, pero la formación de un corazón aún necesita ser perfeccionada. El desafío principal consiste en coreografiar el crecimiento de las intrincadas redes vasculares y las células especializadas, que deben actuar conjuntamente para producir no solo un latido, sino los que sustentan toda una vida.

—Sophie Guterl

THOMAS FUCHS (*antibiótico*); CORTESÍA DE OTT LAB/HOSPITAL GENERAL DE MASSACHUSETTS/ESCUELA DE MEDICINA DE HARVARD (*corazón*)

GEOLOGÍA

Fisuras en Tierra Santa

El terreno que bordea al mar Muerto no parece muy estable. Durante los últimos años, han comenzado a aparecer socavones de hasta veinte metros de profundidad a un ritmo muy rápido. Los hundimientos han inutilizado la que hasta hace poco era un área de disfrute para visitantes y han llegado a atrapar a varias personas, que posteriormente tuvieron que ser rescatadas. Hace poco, un equipo de científicos logró identificar un socavón emergente a partir de los sutiles cambios en la elevación del terreno, por lo que ahora están usando este indicador para predecir otros hundimientos.

El problema se debe al retroceso de las aguas del mar Muerto, que hace miles de años depositó gruesas capas de sales sobre la tierra de la zona. Ahora, sin embargo, el agua dulce subterránea se ha infiltrado hasta las zonas antaño cubiertas por el mar, lo que ha disuelto las capas de sal y ha debilitado el terreno situado bajo el antiguo lecho lacustre.

Para localizar los socavones incipientes, los expertos escudriñaron el terreno con satélites equipados con radar y aviones dotados de dispositivos de telemetría láser. Al mismo tiempo, otro investigador efectuó visitas periódicas a la zona para identificar los socavones más recientes.

Cada vez que aparecía uno nuevo, los científicos acudían a su base de datos para evaluar, con una precisión de milímetros, la subsidencia del terreno durante los meses previos al hundimiento. Las pautas observadas en esos afloramientos les han permitido dar la alarma y alertar de futuros socavones. «En cierta ocasión avisamos al Gobierno y este diseñó una carretera que rodease la zona», explica Ran N. Nof, geofísico de la Universidad de Tel Aviv y uno de los autores del estudio.



SOCAVONES en el mar Muerto.

YUVAL NADEL, REDUX PICTURES (*mar Muerto*); THOMAS FUCHS (*pompa de jabón*)

Aún está por ver si el método propuesto podrá aplicarse a otras zonas del planeta afectadas por hundimientos naturales, como Florida. Timothy Dixon, geólogo de la Universidad de Florida del Sur, señala que el aire húmedo de esa región provoca interferencias en las señales de los radares y promueve la aparición de vegetación, lo que dificulta comparar una imagen de radar con la siguiente.

—Arielle Duhaime-Ross

MATEMÁTICAS

La evolución de las espumas

Todos nos hemos maravillado alguna vez ante la belleza de una pompa de jabón. Estas esferas iridiscentes y efímeras, que pueden perdurar varios minutos antes de desvanecerse en un instante, han captado desde siempre la atención de niños y adultos. También la de físicos y matemáticos, quienes llevan siglos intentando entender y predecir sus propiedades fundamentales.

Las espumas (conjuntos formados por una infinidad de burbujas) revisten un atractivo matemático particular. Obedecen una serie de reglas geométricas, como el hecho de que dos membranas siempre se intersequen bajo cierto ángulo, y se comportan como una especie de ordenador rudimentario, ya que constituyen un sistema que se reordena de modo constante para resolver un problema de optimización: limitar el área superficial de las burbujas.

Un nuevo modelo informático que describe el comportamiento de las espumas tal vez permita profundizar en el estudio de sus propiedades. Ello podría ayudar a fabricar mejores materiales ignífugos, cascos para ciclistas y otros productos cuyo diseño depende de las propiedades de las espumas.

El nuevo modelo, concebido por dos matemáticos de la Universidad de California en Berkeley, separa la evolución de una espuma en tres etapas. En primer lugar, la estructura macroscópica se reordena a medida que la tensión superficial y el flujo de aire desplazan las burbujas y la espuma adquiere una configuración estable. Después, el líquido se escurre por las finas membranas que delimitan cada burbuja hasta que una de ellas se torna demasiado débil. Por último, en la tercera etapa, la membrana se rompe y la burbuja estalla, lo que trastoca el equilibrio de la espuma y el proceso se reinicia. Los resultados fueron publicados el pasado mes de mayo en la revista *Science*.

Cada una de las tres etapas se desarrolla en sus propias escalas de tiempo y espacio. El adelgazamiento microscópico de una membrana transcurre con lentitud, a veces durante cientos de segundos, explica James Sethian, matemático de la Universidad de California en Berke-

ley y uno de los autores del estudio. La ruptura de una membrana, sin embargo, tiene lugar a cientos de metros por segundo. Una de las dificultades para simular la dinámica de una espuma consiste en dar cuenta de los detalles que describen los procesos a las escalas más pequeñas, pero sin frenar con ello otros detalles de la simulación.

La solución propuesta por Sethian y su coautor, Robert Saye, trata cada escala de un modo distinto, centrándose en los procesos a pequeña escala cuando estos se producen y adoptando luego un punto de vista más general durante los procesos macroscópicos, más lentos. «Resulta posible tratarlos por separado y luego unirlos», señala Denis Weaire, físico del Trinity College de Dublín. El resultado de cada etapa de la simulación impulsa la siguiente: el movimiento macroscópico de las burbujas influye en la pérdida microscópica de fluido de las membranas, la cual desencadena la rápida ruptura de una de ellas y provoca que las burbujas se desplacen de nuevo. La simulación, sin embargo, trata cada uno de esos procesos por separado. Algo mucho más complejo que lo que se había intentado hasta ahora.

Weaire explica que las espumas relativamente estáticas, como las de la cerveza, han sido estudiadas con detalle. Sin embargo, la investigación sobre espumas dinámicas casi no había experimentado ningún progreso desde que él y otro experto publicaran, hace ya más de una década, el libro *The physics of foams* («La física de las espumas»), en el que animaban a sus colegas de profesión a avanzar en el estudio de dichos procesos dinámicos. El nuevo trabajo «constituye un primer paso en esa dirección», señala Weaire. No obstante, el modelo adolece aún de algunas limitaciones; por ejemplo, solo resulta aplicable a las espumas «secas», aquellas cuyo contenido en líquido es reducido.

—*John Matson*

ASTRONOMÍA

Sayonara, supergigante



LA GALAXIA REMOLINO, situada a unos 30 años luz de distancia

CORTESÍA DE LA NASA

A pesar de la inmensidad del cosmos, cada cierto tiempo sucede algo emocionante en la pequeña parte que nos es dado observar a los humanos. Así ocurrió hace poco en la galaxia Remolino, una fotogénica espiral situada a unos 30 millones de años luz de distancia. A finales de 2011, la luz de una supernova allí localizada alcanzó nuestro planeta. Poco después, multitud de astrónomos aficionados de todo el mundo comenzaron a recolectar datos e imágenes del cataclismo.

Los astrónomos pudieron determinar con rapidez que la explosión estelar, bautizada como SN 2011dh, se habría producido a causa del colapso de una estrella de gran masa. Sin embargo, el tipo concreto de astro que había estallado continuó siendo un misterio. Cuando los investigadores se afanaban por averiguar más detalles sobre lo sucedido, la fama de la que hace tiempo goza la galaxia Remolino volvió a resultarles de gran utilidad. El telescopio espacial Hubble ya había estudiado con detalle dicha galaxia en 2005. Una comparación entre aquellas imágenes y las de 2011 reveló que, justo donde había explotado la supernova, hubo una vez una supergigante amarilla.

Algunos astrónomos, sin embargo, opinaban que la supernova parecía encontrarse mucho más fría de lo que cabría esperar a partir de la explosión de una estrella de semejante tamaño. Los primeros datos apuntaban a una estrella menor y más azulada. ¿Tal vez se tratase de una vecina de la supergigante amarilla? «Pensábamos que la estrella amarilla había eclipsado a la azul, pero que esta última era la que realmente había explotado», explica Schuyler van Dyk, del Instituto de Tecnología de California.

Un segundo grupo de investigadores, sin embargo, llegó a otra conclusión. Justyn Maund, ahora de la Universidad Queen's de Belfast, y sus colaboradores postularon que el progenitor de la supernova era la misma supergigante amarilla observada por el Hubble. En 2011, sin embargo, nadie se hallaba en condiciones de extraer resultados más firmes, ya que el brillante fulgor del cataclismo impedía examinar el área con más detalle.

Hacia el pasado mes de marzo la luz de la supernova ya había remitido de manera considerable, por lo que Van Dyk y su grupo recurrieron al telescopio Hubble para volver a observar la zona. Para su sorpresa, la supergigante amarilla ya no estaba allí, lo que indicaba que era ella la causante de la explosión. «El otro grupo se hallaba en lo cierto», corrobora Van Dyk, autor principal del artículo en el que los investigadores explicaron sus resultados. El trabajo apareció publicado el pasado mes de julio en la revista *Astrophysical Journal Letters*.

Pero la saga de SN 2011dh no ha concluido aún. La supernova resultó ser un extraño espécimen del tipo IIb, causada por el colapso de una estrella masiva que habría sido despojada de la mayor parte de su capa de hidrógeno, debido quizás a la presencia de una estrella compañera. Si esa explicación es correcta, el astro superviviente aún tendría que estar allí. Dado que el brillo de la supernova sigue atenuándose, el remanente tal vez pueda ser detectado por el telescopio Hubble hacia finales de este año.

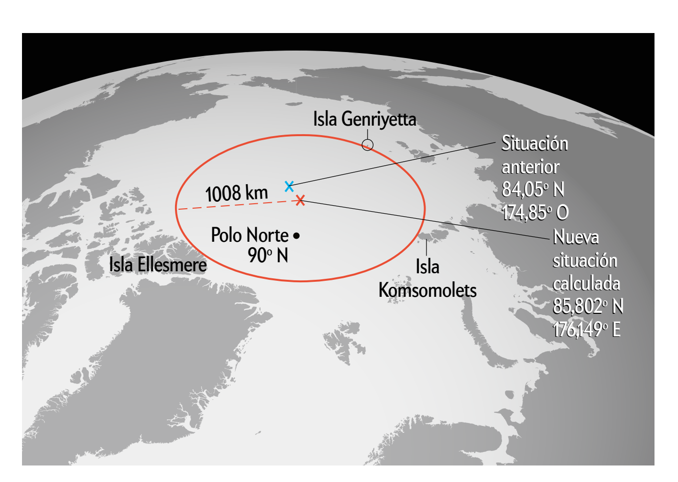
—*John Matson*

EXPLORACIÓN

Una nueva carrera hasta el fin del mundo

De todos los lugares de la superficie de la Tierra, pocas son más difíciles de alcanzar que el apropiadamente designado «polo norte de inaccesibilidad», el punto más alejado de la costa en el océano Ártico. Desde ese lugar, un paso en cualquier dirección sobre el cambiante hielo ártico nos acercaría un poco más a la relativa seguridad de la tierra firme. El polo de inaccesibilidad constituye, desde hace tiempo, una seductora meta para los exploradores. Se dice que el aventurero británico Wally Herbert llegó hasta él en 1968 en trineo de perros, de camino hacia el Polo Norte geográfico, donde se unen todas las líneas de longitud.

En tiempo reciente, el explorador polar Jim McNeill estaba planeando su expedición cuando se dio cuenta de que los documentos antiguos indicaban lugares contradictorios al referirse al polo de inaccesibilidad. McNeill buscó la ayuda de un grupo de investigadores polares, quienes decidieron estudiar la cuestión. Mediante el examen de imágenes de satélite del Ártico tomadas por la NASA, descubrieron que el lugar considerado durante mucho tiempo como el más lejano de tierra firme estaba equivocado en 214 kilómetros. Ted Scambos, del Centro Nacional de Datos sobre Hielo y Nieve de Boulder, Colorado, y sus colaboradores publicaron el hallazgo en la revista *Polar Record* en línea el pasado agosto.



Los científicos definieron el polo como el centro del círculo que abarca la mayor superficie en el océano Ártico. Ese círculo alcanza la costa en tres puntos, cada uno de ellos a 1008 kilómetros del polo de inaccesibilidad determinado. Los tres puntos se sitúan en la costa de islas remotas: la isla Ellesmere de Canadá y las islas Komsomolets y Genriyetta de Rusia. «Tampoco hay que pensar que, si uno se ha perdido y consigue llegar a la costa más cercana, ya está salvado», señala Scambos. «En esa zona, uno siempre se encuentra en dificultades.»

¿Qué errores llevaron al cálculo inicial en la situación del polo de inaccesibilidad? Scambos y otros no pudieron hallar la respuesta en los documentos. Tal vez algunas de las islas del Ártico que ahora están bien cartografiadas resultaban desconocidas en el pasado o se ignoraron en el cálculo.

Teniendo en cuenta la nueva ubicación del polo, la hazaña de Herbert no sería válida. Parece ser que nadie ha llegado nunca al polo, o si lo ha hecho, no se ha dado cuenta, afirma Scambos. Así pues, sigue vigente la carrera por llegar por primera vez al lugar más solitario del Ártico. El cambio climático supone, además, que aquellos que intenten llegar allí a pie tendrán que enfrentarse a un hielo traicionero, debido a que se está derritiendo. «La zona resulta ahora mucho menos segura que en los tiempos heroicos de la exploración», añade. «Por supuesto, un buque rompehielos actual podría llegar hasta allí mucho más fácilmente.»

—Arielle Duhaime-Ross

XNR PRODUCTIONS (*Polo Norte*); THOMAS FUCHS (*ilustración*)

MEDICINA

Bisturís de plasma

En medicina, la palabra plasma suele referirse al componente líquido de la sangre. Pero en la actualidad se está investigando cómo aprovechar mejor el plasma encontrado en las estrellas y los relámpagos, es decir, el cuarto estado fundamental de la materia junto con el sólido, el líquido y el gaseoso, para realizar incisiones quirúrgicas sin derramar sangre, como si se tratase de un soplete.



Desde comienzos del siglo XX, los cirujanos han utilizado descargas de plasma para destruir verrugas y otros tejidos malignos. En la década de los noventa, se comenzó a examinar el uso de chorros de plasma para seccionar el tejido vivo, igual que los cortadores industriales de plasma se utilizan para cortar metal desde los sesenta. Los escalpelos de plasma cauterizarían la carne a la vez que la seccionan. «Funciona como una espada de luz», afirma Jerome Canady, cirujano de Washington, D.C., que inventó uno de los primeros dispositivos.

La hemorragia interna puede resultar letal; de ahí que hallar una forma de prevenirla ayudaría a salvar vidas. Asimismo, minimizar la necesidad de transfusiones de sangre es vital, especialmente en el campo de batalla. El Mando de Operaciones Especiales de los Estados Unidos hizo pruebas de campo con bisturís de plasma en 2008.

La técnica se basa en que un gas, como el argón, a alta presión atraviesa una estrecha canalización en la que adquiere carga eléctrica, con lo que se convierte en una hoja de plasma que se desplaza a casi 2500 kilómetros por hora. Suelen utilizarse plasmas relativamente fríos, a una temperatura que permite cauterizar el tejido con el que entran en contacto pero sin que las células circundantes se calienten más allá de los 36 grados centígrados. «Podemos trabajar con mayor precisión que con los escalpelos tradicionales», afirma Canady. «Con estos se producen daños secundarios de entre 0,4 y 0,8 milímetros, pero solo de entre 0,1 y 0,2 milímetros con los de plasma.»

Las investigaciones sugieren, cada vez con mayor claridad, que el plasma puede ejercer efectos terapéuticos más allá de los derivados del calor. En concreto, hace que las moléculas de oxígeno y nitrógeno del

CONSERVACIONISMO

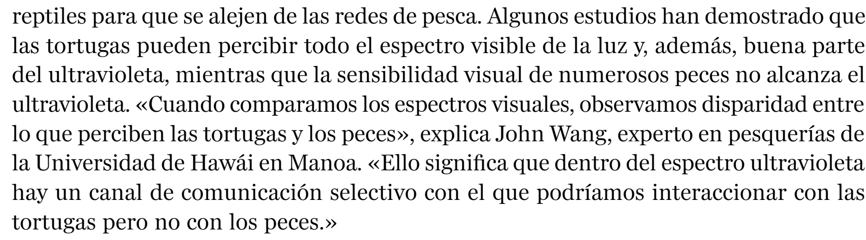
Alertar a las tortugas



JEFF ROTMAN, GETTY IMAGES (*tortuga*); ASOCIACIÓN PÉNDULUM (*experimento metalúrgico*)

Cada década, los pescadores que intentan capturar atunes, gambas, pargos y otros animales sacan accidentalmente del mar millones de tortugas marinas, según una estimación realizada hace poco. La mayoría de estas especies de tortugas son vulnerables a la extinción. La captura accidental, en opinión de los investigadores, constituye una de las causas principales de su mortalidad.

Dado que prohibir por completo la pesca perjudicaría enormemente las economías locales, los conservacionistas buscan en su lugar formas de espantar a los reptiles para que se alejen de las redes de pesca. Algunos estudios han demostrado que las tortugas pueden percibir todo el espectro visible de la luz y, además, buena parte del ultravioleta, mientras que la sensibilidad visual de numerosos peces no alcanza el ultravioleta. «Cuando comparamos los espectros visuales, observamos disparidad entre lo que perciben las tortugas y los peces», explica John Wang, experto en pesquerías de la Universidad de Hawái en Manoa. «Ello significa que dentro del espectro ultravioleta hay un canal de comunicación selectivo con el que podríamos interaccionar con las tortugas pero no con los peces.»



Wang y sus colaboradores, con la ayuda de pescadores del sur de Baja California, experimentaron con diodos LED de luz ultravioleta, reutilizables y alimentados por medio de baterías, que emplearon como dispositivos disuasorios para las tortugas. Al fijar luces ultravioleta a intervalos de cinco metros en las redes de enmalle, redujeron un 40 por ciento las capturas accidentales, o descartes, de tortugas marinas, en comparación con las redes de control provistas de diodos LED no activados, según ha informado hace poco el equipo en *Biology Letters*. Aunque las redes iluminadas atraparon algunos peces menos que las de control, los investigadores no hallaron diferencias notables en el valor económico de las dos capturas.

Aunque al principio los pescadores rechazaron participar en la investigación, pronto se dieron cuenta de que no se intentaba salvar las tortugas en detrimento de las comunidades pesqueras. A largo plazo, esas técnicas incluso les permitirían ahorrar dinero. «Las tortugas causan graves daños a los aparejos, por lo que en algunos lugares los pescadores están motivados en poner en práctica soluciones de reducción del descarte», señala Hoyt Peckham, del Centro de Soluciones Oceánicas de la Universidad Stanford, que no participó en el estudio. Los diodos LED cuestan unos dos dólares cada uno, pero su precio está disminuyendo.

Incluso se podrían utilizar diodos LED que emitieran luz de diferentes longitudes de onda para asustar a las tortugas y atraer a las especies comercialmente deseables, añade Wang. El investigador tiene previsto probar esa idea a lo largo del próximo año en México, Brasil e Indonesia.

—Rachel Nuwer

aire, eléctricamente neutras, adquieran carga. Después, estas forman ozono y óxido de nitrógeno que pueden destruir las bacterias y células cancerosas. Michael Keidar, físico especializado en plasma y director del Instituto George Washington de Nanotecnología en Washington, D.C., y sus colaboradores han obtenido una subvención de 445.000 dólares, de cinco años de duración, para investigar los efectos físicos del plasma en el organismo. Quizá si se controla la frecuencia, el voltaje y la forma de onda de los pulsos eléctricos utilizados para generar el plasma se pueda influir sobre la profundidad a la que penetra en el tejido vivo. Ese conocimiento podría ayudar a lograr cortes aún más precisos, que causaran menos daños secundarios a los tejidos sanos, y a optimizar los efectos antibacterianos y anticancerígenos del plasma. «No se ha realizado investigación básica de esta aplicación del plasma», explica Keidar. «Esperamos que la plena comprensión de los mecanismos de su funcionamiento abra muchas puertas.» *—Charles Q. Choi*

AGENDA

CONFERENCIAS

4 de noviembre
La selección natural en humanos: pasado, presente y futuro
Jaume Bertranpetit, Universidad Pompeu Fabra
Ciclo «Evolución y cultura. La naturaleza humana en transformación»
Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona
www.bdebate.org

5 de noviembre
¿Genes, dinero y evolución?
Arcadi Navarro, Universidad Pompeu Fabra
Ciclo «(Re)volución: Conquista con nosotros las nueva fronteras del conocimiento»
Parque de Investigaciones Biomédicas de Barcelona
fronteresdelconeixement.cat

18 de noviembre
Biotecnología de plantas: de la investigación básica a los problemas globales
José Luis Riechmann, Centro de Investigación en Agrigenómica
Ciclo «La voz de los descubrimientos: Descubrir, innovar, transferir el conocimiento»
Residencia de Investigadores del CSIC
Barcelona
www.residencia-investigadors.es

OTROS

3 de noviembre – Pícnic científico
Fuego, metales... y castañas
Asociación Pèndulum
Parque Natural del Montseny
www.pendulum.es/P-cnics-Cient-fics



Del 4 al 8 de noviembre 2013 - Congreso
Matemáticas y geociencias: perspectivas globales y locales
Instituto de Ciencias Matemáticas
Madrid
www.icmat.es/congresos/mag2013

Del 7 al 22 de noviembre – Ciclo
La frontera de la física fundamental
Residencia de Estudiantes del CSIC
Madrid
www.ift.uam-csic.es > Divulgación

PESQUERÍAS

El cambio climático se sienta a la mesa

El uso innovador de las estadísticas de desembarques pesqueros ha demostrado que el clima ya ha influido en la composición de las especies capturadas en pesquerías de todo el mundo y, por tanto, en el pescado que comemos

Los expertos en pesquerías tienden a ver el cambio climático como una nube de tormenta en el horizonte: un problema potencial, pero no una preocupación inmediata. Se espera que el calentamiento, la acidificación y la desoxigenación de los océanos tengan un impacto relevante sobre los ecosistemas marinos y sus pesquerías, pero solo en décadas o siglos futuros. Otros problemas como la crisis global de sobrexplotación pesquera resultan, en cambio, inminentes, por lo que han centrado la atención de los investigadores durante el decenio pasado. Sin embargo, William W. L. Cheung, del Centro de Pesquerías de la Universidad de la Columbia Británica en Vancouver, y sus colaboradores han presentado en la revista *Nature* pruebas preocupantes de que la composición de los desembarques pesqueros globales ha cambiado, tal como cabría esperar si lo hiciera de acuerdo con el incremento de la temperatura superficial del mar. El cambio climático se ha convertido en un inesperado invitado a la cena.

Los cambios en la distribución geográfica de las especies constituyen uno de los principales impactos del cambio climático predichos para los ecosistemas oceánicos. Las especies marinas tienden a ocupar todo el rango de temperaturas que pueden tolerar fisiológicamente; por tanto, a escala global su distribución se ajusta bien a la de las regiones climáticas del océano. Los cambios de distribución suelen producirse a lo largo de varias generaciones mediante la expansión y la extinción de poblaciones locales. El calentamiento puede alterar las tasas de crecimiento, supervivencia o reproducción de los individuos, favoreciendo a las especies adaptadas a aguas cálidas y perjudicando a aquellas adaptadas a aguas frías. Por tanto, si los restantes factores permanecen invariables, se espera que el calentamiento cambie la composición de las comunidades de peces de una región dada, al ser reemplazadas las especies de aguas frías por otras de aguas cálidas.

No obstante, en las aguas tropicales se produce una diferencia sutil, pero importante. Puesto que esas regiones son ya las más cálidas del planeta, no pueden ser colonizadas por especies procedentes de climas más cálidos todavía. Al iniciarse el calentamiento, la composición de la comunidad debería cambiar a favor de las especies mejor adaptadas a aguas cálidas, como en otras zonas.

Sin embargo, una vez completado el declive de las especies de aguas frías, la composición de la comunidad debería estabilizarse, al no existir especies capaces de expandirse a estas regiones. A partir de este punto la composición debería permanecer estable, incluso cuando la temperatura aumentase demasiado para las especies de aguas cálidas supervivientes, cuya abundancia debería entonces empezar a declinar.

Demostrar esa hipótesis a gran escala ha resultado difícil. Típicamente, las áreas de distribución de las especies marinas se determinan mediante costosos estudios científicos, tales como censos acústicos y recuentos mediante pesca de arrastre, y suelen limitarse al mundo desarrollado. Las estadísticas pesqueras, en cambio, son ubicuas y se recopilan de forma rutinaria tanto en economías avanzadas como en vías de desarrollo. Pero su utilización resulta controvertida y, en general, no se hubieran considerado útiles para este tipo de estudios.



LA COMPOSICIÓN DE LOS DESEMBARQUES PESQUEROS ha cambiado en todo el mundo desde los años setenta del siglo XX, conforme la temperatura superficial media aumentaba. El salmonete de roca (*Mullus surmuletus*), en la fotografía, suele asociarse con el Mediterráneo, pero en las últimas décadas se ha expandido hasta el mar del Norte y las aguas noruegas.

A. M. ARIAS, LONJA DE CONIL (CÁDIZ)

Temperatura media de la captura

Para enfrentarse a ese problema, Cheung y su equipo han adoptado un nuevo enfoque: han recurrido al análisis de la «temperatura media de la captura» (TMC). Este parámetro de nombre ambiguo no se corresponde a la temperatura corporal de los peces al dejar el agua, como su nombre sugiere, sino que caracteriza la composición de la captura de acuerdo con las preferencias térmicas de las especies que la forman. Para cada una de las especies incluidas en la base de datos, los autores calcularon el valor de su temperatura preferida, a partir de un modelo que simulaba la distribución de cada especie. A continuación, se calculó la TMC como la media ponderada de la temperatura

preferida por cada una de las especies capturadas.

Los autores calcularon este parámetro para los desembarques anuales de 990 especies procedentes de 52 grandes ecosistemas marinos entre 1970 y 2006. Una vez corregido el efecto de otros posibles factores, descubrieron una correlación positiva entre la tendencia regional de incremento de la temperatura marina superficial y el valor TMC. En los ecosistemas tropicales, la temperatura había aumentado sistemáticamente, pero la TMC se estabilizó tras una fase inicial de incremento durante la década de los años setenta.

El patrón es global, independiente de otras formas de variabilidad oceanográfica y de la presión pesquera, lo que concuerda con la hipótesis propuesta. Cabe resaltar que el método empleado para definir las preferencias térmicas utilizadas para calcular la TMC no parece influir en el resultado.

Estos datos respaldan con fuerza la hipótesis de que el incremento de la temperatura superficial del mar está modificando la composición de los desembarques pesqueros en todo el mundo. Además, sugieren que la composición de las capturas de las regiones tropicales se ha estabilizado, lo que implica que dichas zonas se han vuelto demasiado cálidas para la mayor parte de las especies, salvo las más termófilas.

El aspecto clave del artículo, y que lo distingue de otros estudios, es el modo en que se han analizado los datos de desembarques pesqueros. Las estadísticas globales de pesca suelen emplearse para determinar el estado de las poblaciones de peces del mundo. Cheung y sus colaboradores, sin embargo, emplean las estadísticas de desembarques para inferir la composición por especies de las pesquerías y el modo en que la composición ha cambiado en el tiempo; por tanto, los datos responden directamente a la pregunta realizada, en lugar de constituir una medición indirecta. De ahí que muchas de las críticas dirigidas a otros estudios basados en estadísticas pesqueras no tengan sentido en este caso.

Existe una fuerte tentación de extrapolar estos resultados más allá de los datos concretos y concluir que las poblaciones marinas subyacentes también han cambiado en respuesta al calentamiento, además de haberlo hecho la composición de los desembarques pesqueros. Los autores han resistido la tentación, aunque presentan datos que apuntan en este sentido en al menos algunas zonas, como el mar del Norte. Sin embargo, las pesquerías se hallan influidas por numerosos factores más allá del dominio de la biología, incluidas las preferencias de los consumidores, los adelantos técnicos, la política internacional y los costes del combustible. ¿Puede que los desembarques pesqueros no reflejen siempre la abundancia de las poblaciones subyacentes? Es necesario comprender el impacto de estos factores en la TMC antes de realizar generalizaciones sobre las comunidades de peces.

De todos modos, los cambios en la composición de los desembarques pesqueros resultan por sí solos llamativos y son motivo de preocupación, sobre todo en los países tropicales. En estas regiones, el hecho de que la composición de las capturas aparentemente haya alcanzado un estado terminal termófilo significa que un calentamiento adicional podría reducir el rendimiento pesquero en el futuro, si no lo ha hecho ya. Los países ribereños tropicales son, además, los más dependientes de la pesca como fuente de empleo, divisas y alimento, y tienen una menor capacidad para adaptarse a dichos cambios. La modificación de la composición de sus capturas pesqueras y la potencial reducción de la productividad de sus pesquerías probablemente afecten a su seguridad alimentaria y desarrollo.

Los cambios documentados por Cheung y sus colaboradores se han producido en el mar. Los consumidores y las comunidades de pescadores tendrán que adaptarse a las nuevas especies que aparecen en las redes de pesca y a la presencia cada vez más reducida de las especies tradicionales. Serán necesarios recursos para ayudar a esta adaptación, especialmente en los países tropicales. El cambio climático ha llegado a la pescadería y a nuestra mesa. La pregunta ahora es cómo debemos responder.

—Mark Payne
Centro para la Vida Marina
Instituto Nacional de Recursos Acuáticos
Universidad Técnica de Dinamarca

Artículo original publicado en *Nature* 497, págs. 320-321, 2013.
Traducido con el permiso
de Macmillan Publishers Ltd. © 2013

FÍSICA TEÓRICA

El tamaño de un átomo

El modelo de Bohr para la estructura atómica planteó preguntas como cuál es exactamente la extensión de un átomo. Cien años más tarde, el asunto sigue sin estar zanjado. Dos físicos analizan los límites teóricos del tamaño atómico y nuclear

Argumentos orbitales

El modelo atómico de Bohr, publicado en 1913 en *Philosophical Magazine*, originó una forma nueva de pensar acerca del tamaño atómico. Predice que el radio del átomo más pequeño, el de hidrógeno en su estado fundamental, es de $0{,}5 \times 10^{-10}$ metros, cien mil veces mayor que el tamaño de un núcleo. Este valor es conocido como el radio de Bohr (a_o). El modelo permite calcularlo con una precisión extraordinaria y se considera una de las constantes fundamentales de la física atómica. La teoría también permite calcular, de forma aproximada, la velocidad de un electrón en el orbital más cercano al núcleo, que tendría el valor de $Zc\alpha$ (donde Z es el número de protones, c es la velocidad de la luz y α la constante de estructura fina con un valor aproximado de 1/137). Una consecuencia interesante de esta relación es que fija el límite superior para Z en 137, por encima del cual se alcanzarían velocidades superiores a la de la luz.

Los modelos atómicos actuales se basan en la ecuación de Dirac, que combina las teorías de la relatividad y de la mecánica cuántica en el marco de la electrodinámica cuántica (QED, de *quantum electrodynamics*). La ecuación de Dirac

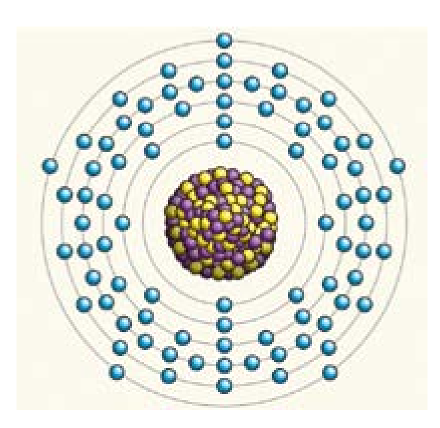
aplicada a un núcleo puntual nos conduce a un resultado idéntico: la energía de enlace del electrón se vuelve compleja para valores de Z iguales o superiores a $1/\alpha$. El límite aumenta hasta $Z = 173$ para núcleos extensos (no puntuales). Por encima de este valor, la energía de enlace es el doble del valor de la masa en reposo del electrón, lo que desencadenaría la creación de pares electrón-antielectrón convirtiendo el átomo en inestable.

Se puede definir el tamaño de un átomo de diferentes formas. Una de ellas consiste en tomar el radio esférico medio basado en la densidad total de electrones, en cuyo caso el intervalo de posibles valores es relativamente pequeño: entre $1{,}06a_0$ y $1{,}5a_0$. Otra posibilidad se basa en considerar el radio del orbital externo, que tiene mayor variabilidad: $1a_0$ para $Z = 1$ y $8a_0$ para $Z = 172$. Qué pasaría por encima de este valor continúa sujeto a investigación hoy en día. Es además relevante para entender cómo la emisión de pares electrón-antielectrón reales se relaciona con la desintegración del vacío cuántico, un misterioso estado de la materia predicho por la electrodinámica cuántica. Este describiría el espacio vacío, en el que partículas virtuales como fotones y pares electrón-antielectrón son constantemente creados y aniquilados.

El núcleo más pesado descubierto hasta la fecha, identificado en 2006 por el grupo de Yu. Ts. Oganessian, del Instituto Central de Investigaciones Nucleares en Dubna, y sus colaboradores del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore y la Universidad de California, tiene $Z = 118$. Solo sería posible estudiar núcleos con un número mayor de protones durante el lapso de tiempo en que existieran tras hacer colisionar dos núcleos de menor carga. Ya se intentó en los años ochenta, pero los aceleradores de la época eran incapaces de producir núcleos desnudos (con un solo electrón) con un número de protones suficiente. Hoy en día, se producen haces de tales núcleos de gran calidad, con energías que podrían permitir la preparación de sistemas binarios que durarían un tiempo medio de 10^{-21} segundos. Se han propuesto distintos proyectos para estudiar los estados cuasi-moleculares generados por estas colisiones e investigar las propiedades de los cuasi-átomos.

Pero no es solo posible «construir» átomos mayores a partir de otros más pequeños. También lo es crear átomos exóticos de menor tamaño al remplazar electrones de los átomos originales por partículas más pesadas como muones, piones o antiprotones. Los sistemas resultantes son entre 207 y 1836 veces más pequeños que los correspondientes átomos normales, y tienen por tanto un tamaño parecido al de un núcleo. De hecho, este tipo de átomos han sido utilizados para estudiar algunas propiedades nucleares, como el tamaño del protón, determinado en 2010 por Randolf Pohl, del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica en Garching, y sus colaboradores.

—Paul Indelicato
Laboratorio Kastler Brossel, ENS, CNRS
Universidad Pierre y Marie Curie
París



ESTE ESQUEMA DE UN ÁTOMO DE BISMUTO-209 ejemplifica las características del modelo atómico de Bohr. Un núcleo compuesto de protones (*morado*) y neutrones (*amarillo*) alrededor del cual orbitan electrones (*azul*) que ocupan distintas capas. Los tamaños relativos del núcleo y las capas electrónicas no están dibujados a escala. El bismuto-209 puede desintegrarse emitiendo radiación α, pero su vida media (medida experimentalmente) es de $1{,}9 \pm 0{,}2 \times 10^{19}$ años, un millón de veces la edad estimada del universo. Constituye, por tanto, el átomo estable más pesado que existe de forma natural.

© NATURE

La cuestión nuclear

El tamaño máximo de un átomo depende de su estabilidad frente a procesos de desintegración. En general, solo unos pocos isótopos de cada elemento son estables, siendo el más pesado de estos el bismuto-209 (83 protones y 126 neutrones). Los elementos con número de masa mayor son todos radiactivos, aunque dos de ellos (el torio y el uranio) presentan una vida media notable, por lo que existen en grandes cantidades en la naturaleza. A efectos prácticos, al perdurar tanto tiempo se consideran estables, a pesar de ser radiactivos.

Al añadir neutrones a un núcleo para aumentar su tamaño, se va acortando de forma progresiva el tiempo que el átomo sobrevivirá antes de desintegrarse, hasta alcanzar la barrera de estabilidad neutrónica, más allá de la cual todo núcleo emitirá neutrones de forma espontánea. El límite superior para el número de neutrones que es posible añadir a un núcleo depende fundamentalmente de Z: a mayor Z, más allá se encuentra la barrera de estabilidad neutrónica. Esta ha sido alcanzada ya experimentalmente en los elementos con un número atómico igual o menor al del oxígeno —quizá también para el aluminio, aunque existe cierta controversia al respecto—. Pero para los elementos más pesados, solo se dispone de estimaciones teóricas sobre dónde puede estar situada esta barrera. Los modelos teóricos predicen que el átomo más pesado de uranio tendría 92 protones y 208 neutrones; en cambio, el uranio más pesado existente de forma natural tiene un número de masa de 238.

Si en lugar de neutrones se añadiesen protones al uranio, el átomo más pesado no sintetizado en un laboratorio, se formarían nuevos elementos (en realidad habría que añadir tanto protones como neutrones para evitar cruzar la barrera de estabilidad protónica). Los núcleos resultantes se volverían de forma gradual más inestables al aumentar el número de protones, ya que la creciente repulsión coulombiana en el interior del átomo haría más propicia la aparición de fisión. En ausencia de efectos cuánticos, la fisión espontánea aparece para $Z = 106$.

Sin embargo, los núcleos formados por un número «mágico» de protones y neutrones son especialmente estables comparados con sus «vecinos». Los núcleos superpesados con un número de neutrones «casi mágico» forman «islas» de núcleos longevos, rodeadas de un «mar» de núcleos más efímeros. En los años sesenta, la teoría nuclear vigente predijo que 114 protones y 184 neutrones formarían una de tales combinaciones mágicas. El centro de esta isla aún no ha sido explorado experimentalmente, y las posibles formas de alcanzarlo se hallan todavía sujetas a debate. Así lo planteaban Valeriy Zagrebaev, del Laboratorio Flerov de Reacciones Nucleares en Dubna, y sus colaboradores, en la onceava Conferencia Internacional sobre Colisiones Núcleo-Núcleo celebrada el año pasado en San Antonio, Texas

(las presentaciones de este encuentro se hallan publicadas en el número 420 del *Journal of Physics: Conference Series*). Con todo, sí han sido sintetizados ya elementos hasta Z = 118. Los resultados señalan sin ambigüedad la existencia de la isla, pero son todavía insuficientes para predecir el límite superior de la misma ni cuál sería el período de vida de los átomos que se encuentren en el borde. Sobre este punto, tampoco existe un consenso basado en consideraciones teóricas.

¿Existen otras islas de estabilidad? Probablemente sí, aunque las diferentes teorías sobre estabilidad nuclear difieren en sus predicciones cuando son extrapoladas a dominios tan remotos, por lo que la respuesta contraria tampoco puede ser descartada. Una de las hipótesis propuestas sugiere que en los núcleos muy pesados la materia nuclear sigue una distribución en forma de burbujas, en lugar de la «típica» distribución casi uniforme. Este tipo de distribución moderaría de forma sustancial las fuerzas de Coulomb presentes, incrementando la estabilidad nuclear. Algunas de las teorías predicen estructuras en forma de burbuja de este tipo en la vecindad de la primera isla de estabilidad, en cuyo caso los núcleos masivos de larga vida podrían tener estructuras bastante exóticas.

—Alexander Karpov
Laboratorio Flerov
de Reacciones Nucleares
Instituto Central
de Investigaciones Nucleares
Dubna

Artículo original publicado en *Nature* 498, págs. 40-41, 2013, en el informe especial sobre el centenario de la teoría atómica de Bohr (nature.com/bohr100). Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2013

GENÉTICA DE POBLACIONES

La historia de los gitanos europeos

El estudio de su genoma indica que migraron a Europa desde la India hace unos 1500 años

Los más de diez millones de gitanos que viven en Europa constituyen la mayor minoría étnica del continente. Sin embargo, la historia del pueblo gitano, también denominado romaní, es una de las más desconocidas debido a la inexistencia de una tradición oral o escrita sobre su origen y dispersión.

Las similitudes lingüísticas entre el idioma romaní y las lenguas indoeuropeas del subcontinente indio, así como los rasgos antropológicos compartidos (nomadismo y estructura social, entre otros) apuntan a un posible origen de los gitanos en el sur del continente asiático. No obstante, la historia cultural y genética de un pueblo no son necesariamente concordantes, ya que las culturas (lenguas o costumbres) pueden transmitirse sin necesidad de que lo hagan los genes. La genética, por tanto, entraña el potencial de aportar una visión complementaria y única sobre el origen del pueblo gitano.

Marcadores genéticos

Todos los humanos derivamos de una población ancestral originada en África hace unos doscientos mil años. Pese a este origen reciente como especie, el genoma de cada uno de nosotros contiene millones de variantes genéticas acumuladas durante miles de generaciones. Dado que la mayoría de estas mutaciones son neutras (su destino no se halla gobernado por la selección natural), se van acumulando en el genoma con el paso del tiempo. En consecuencia, la cantidad de diferencias genéticas entre personas de dos grupos humanos permite cuantificar el tiempo transcurrido desde que estos se separaron. Mediante la aplicación de este principio básico de la genética de poblaciones, el estudio de nuestro ADN permite investigar las separaciones, dispersiones y mezclas que han modelado la diversidad genética de los grupos humanos actuales.

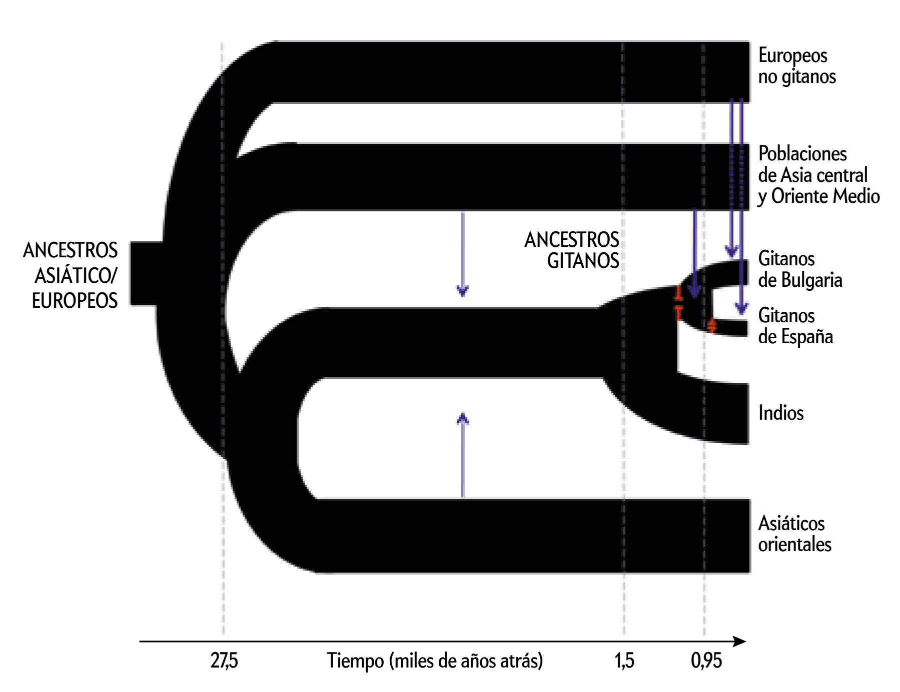
En los últimos veinte años, el análisis genético para esclarecer procesos demográficos se ha basado, sobre todo, en el estudio de marcadores uniparentales: variaciones en el genoma que se heredan exclusivamente de los ancestros maternos (ADN mitocondrial) o paternos (cromosoma Y). A pesar de que estos cromosomas representan menos del dos por ciento de nuestro genoma, ambos resultan extraordinariamente útiles para determinar procesos migratorios. Ello se debe a que dichas secuencias de ADN uniparental (linajes) se han transmitido enteras desde nuestros ancestros hasta la actualidad, escapando a la mezcla del material genético de los dos progenitores (recombinación) que sufren el resto de los cromosomas en cada generación. Además, dado que la distribución geográfica de los linajes se confina a regiones continentales, determinar el origen geográfico de un linaje resulta metodológicamente sencillo.

En el caso de los gitanos europeos, el análisis de los marcadores uniparentales muestra una mezcla de linajes genéticos típicamente europeos y linajes que se encuentran exclusivamente en el subcontinente indio. Ello sugiere un origen indio de los gitanos y una reciente mezcla



LOS GITANOS migraron del subcontinente indio a Europa hace unos 1500 años (*rojo*). Tras una rápida travesía por Oriente Próximo, en la que se produjo un escaso intercambio genético con las poblaciones autóctonas que encontraban en el camino, se asentaron en los Balcanes (*verde*). Empezó entonces, hace unos 900 años, la fragmentación que dio lugar a la diversidad de grupos actual.

CORTESÍA DE LOS AUTORES



ÁRBOL QUE RECONSTRUYE la historia demográfica de los gitanos europeos. El ancho de las ramas es proporcional al tamaño de la población. Las líneas rojas corresponden a cuellos de botella. El ancho de las flechas azules indica la tasa de migración.

con europeos no gitanos. Además, tanto el cromosoma Y como el ADN mitocondrial muestran una reducida diversidad genética, lo que sugiere que los romanís tienen un origen común en un grupo reducido de ancestros (presentan, por tanto, un «efecto fundador»).

Sin embargo, el análisis de los cromosomas uniparentales está limitado por la alta aleatoriedad de los procesos demográficos. Para obtener conclusiones más detalladas y robustas, es necesario estudiar un número elevado de marcadores genéticos. La revolución técnica que el campo de la genómica ha experimentado durante los últimos años permite hoy el escaneo sistemático del genoma de un gran número de individuos.

Análisis refinados

El análisis de casi un millón de variantes genéticas en individuos romanís y su comparación con otras poblaciones contemporáneas de Europa y Asia ha permitido refinar los resultados anteriores y establecer así los parámetros demográficos que han modelado los genomas gitanos. Los resultados de este barrido, obtenidos gracias a la colaboración de 18 centros de investigación y universidades, y publicados en diciembre de 2012 en *Current Biology*, sitúan el origen de los gitanos europeos en el noroeste de la India, en el límite fronterizo con Pakistán: desde allí, un reducido número de individuos abandonó la región hace unos 1500 años y se desplazó hacia el oeste del continente eurasiático.

La salida de la población proto-romaní del subcontinente indio supuso una drástica reducción (alrededor del 50 por ciento) de la diversidad genética parental de la India. Tras una rápida travesía por Oriente Próximo, con escaso intercambio genético con las poblaciones autóctonas que encontraron en el camino, este grupo se asentó en los Balcanes. Fue entonces, hace unos 900 años, cuando empezó la fragmentación que dio lugar a la diversidad actual de grupos. Aunque la mayoría de estos se estableció en los países balcánicos, unos pocos migraron hacia el resto del continente europeo. La dispersión tuvo lugar mediante eventos sucesivos de colonización que dieron lugar a efectos fundadores adicionales; estos llegaron a suponer una pérdida de diversidad de hasta un 30 por ciento desde los Balcanes hasta los extremos de la ruta migratoria.

La genética permite trazar la ruta de migración seguida por los gitanos durante su dispersión, ya que las distancias genéticas entre los grupos gitanos actuales muestran una coincidencia casi perfecta con las fechas documentadas que testifican la llegada de los gitanos a los diferentes países europeos (entre los siglos XIV y XV).

La comparación de los genomas de los grupos gitanos revela diferencias en el comportamiento de estos en cuanto a su relación social con las poblaciones no gitanas. Mientras que los de los Balcanes muestran poca mezcla genética con poblaciones «payas» (un 7,5 por ciento de su genoma es de origen europeo), los grupos más distantes, como los de la península Ibérica o los países bálticos, son los que han recibido más influencia genética de las poblaciones vecinas (alrededor de un 15 por ciento). Curiosamente, los fragmentos cromosómicos no gitanos incorporados en los grupos gitanos de los



GRUPO DE GITANOS en su tradicional peregrinación a Santas Marías de la Mar, en la Camarga francesa.

FUENTE: «RECONSTRUCTING THE POPULATION HISTORY OF EUROPEAN ROMANI FROM GENOME-WIDE DATA», POR ISABEL MENDIZABAL ET AL. EN *CURRENT BIOLOGY*, VOL. 22, PÁGS. 2342-2349, 2012 (*árbol*); WIKIMEDIA COMMONS/YANN/CC BY SA 3.0 (*gitanos*)

Balcanes son de mayor longitud, lo que indica una mezcla más reciente con poblaciones «payas» (tras la mezcla entre dos poblaciones, los trozos cromosómicos incorporados son muy largos; con el tiempo, estos se van acortando por la acción de la recombinación). Este hallazgo podría reflejar cambios recientes en las normas sociales de los gitanos balcánicos, tales como la aceptación de matrimonios mixtos y la incorporación de su descendencia en la población romaní.

Los datos genéticos obtenidos hasta el momento arrojan luz sobre la historia poblacional de los gitanos europeos y permiten refinar las hipótesis planteadas desde otras disciplinas como la lingüística o la antropología. Algunas preguntas como el porqué del éxodo del pueblo proto-romaní de la India seguirán siendo un misterio. Sin embargo, la genética de poblaciones tiene el potencial de desvelar algunas cuestiones pendientes sobre la historia del pueblo romaní, como su relación con grupos nómadas del Oriente Próximo o el grado de flujo genético de las poblaciones gitanas hacia las payas. En plena revolución tecnológica en la secuenciación del ADN, la genómica podrá resolver estas y otras cuestiones sobre el pasado de esta importante fracción de la población europea.

—Isabel Mendizabal y David Comas
Instituto de Biología Evolutiva
CSIC-Universidad Pompeu Fabra

INGENIERÍA

Evaluación integral del riesgo sísmico

La consideración de factores sociales, económicos y ambientales, además de los arquitectónicos y urbanísticos, mejora la prevención y la mitigación de los daños causados por un terremoto

Los terremotos pueden resultar catastróficos cuando ocurren en áreas urbanas densamente pobladas y con infraestructuras frágiles. Por tanto, para minimizar los desastres causados por estos fenómenos naturales devastadores resulta crítica una buena evaluación del riesgo sísmico, es decir, la probabilidad de que se produzcan daños materiales y pérdida de vidas humanas debido a un terremoto en una zona determinada y en un intervalo de tiempo concreto.

Sin embargo, las evaluaciones del riesgo sísmico suelen realizarse bajo una concepción fragmentada del mismo, que varía según la disciplina científica desde la que se aborda el estudio. En general, suelen centrarse en aspectos físicos, sobre todo en la afectación de los edificios y las infraestructuras (características estructurales).

Pero el riesgo no solo se asocia con la ocurrencia del fenómeno natural en sí, sino también con todos los factores de vulnerabilidad que puedan agravar los daños causados por este. Dicha vulnerabilidad guarda relación con las características estructurales de los edificios de la zona y también con la fragilidad social o falta de resiliencia de la población. Una mala organización institucional y comunitaria, una insuficiente preparación para dar respuesta ante emergencias, la inestabilidad política y una economía débil contribuyen a aumentar el riesgo. Factores como la falta de educación y de gobernabilidad, la marginalidad, la pobreza, las condiciones sociales de desigualdad, la fragilidad de las viviendas y, en general, las condiciones de inseguridad social y económica, constituyen los principales determinantes de los desastres —no solo los sísmicos, sino también los debidos a otros fenómenos naturales—. Es decir, los desastres son socio-ambientales por naturaleza y su ocurrencia es el resultado de riesgos creados por la sociedad. Por tanto, para lograr una mejor gestión del riesgo es necesario recurrir a enfoques multidisciplinarios e integrales del mismo.

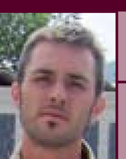
Enfoque holístico

Durante los últimos años nuestro grupo de investigación ha trabajado en la mejora de los métodos de evaluación del riesgo sísmico con el propósito de facilitar la toma de decisiones a los técnicos y autoridades de protección civil así como

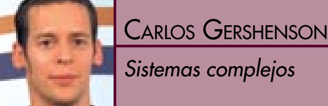
educación ciencia filosofía universidad opinión comunicación ética cuestionar historia observar conocimiento reflexión 2.0 blog experimento investigación diálogo



Ciencia en primera persona


MARC FURIÓ BRUNO
Los fósiles hablan


CLAUDI MANS TEIXIDÓ
Ciencia de la vida cotidiana


CARLOS GERSHENSON
Sistemas complejos

LUIS CARDONA PASCUAL
Ciencia marina


ALBERTO RAMOS
Laboratorio de computación

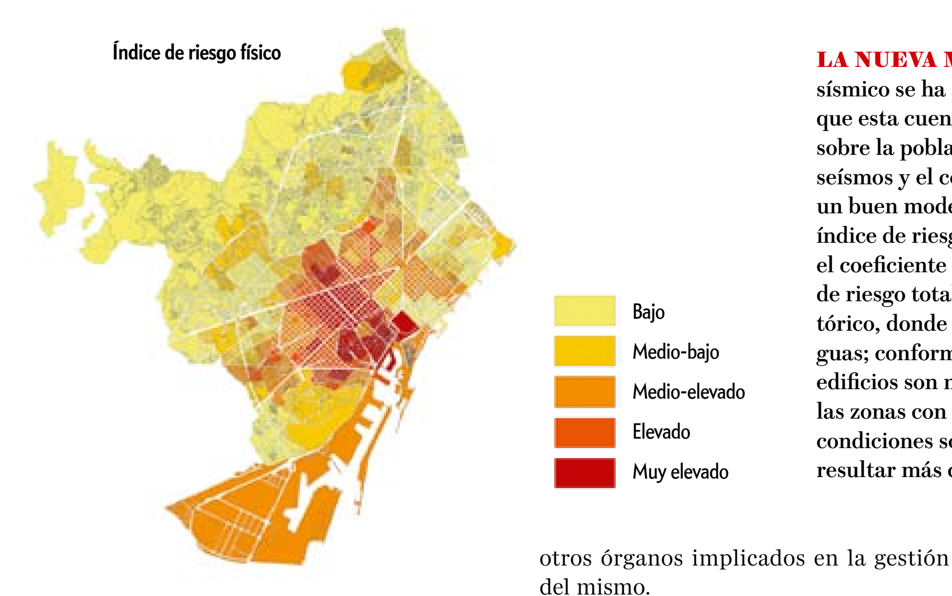

JOSHUA TRISTANCHO MARTÍNEZ
Misiones espaciales low-cost

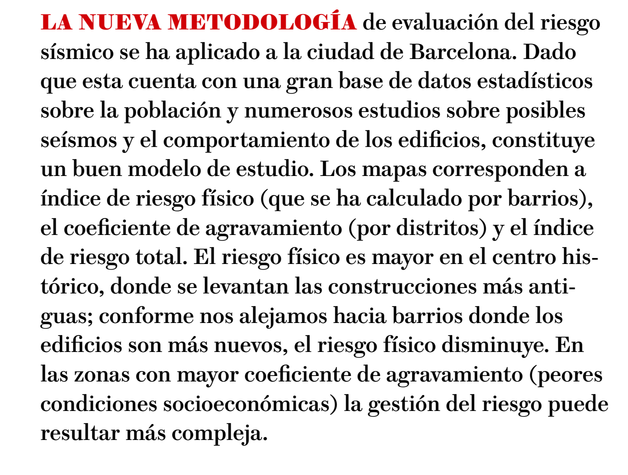

JULIO RODRÍGUEZ LÓPEZ
La bitácora del Beagle


ÁNGEL GARCIMARTÍN MONTERO
Física y sociedad

Y MÁS...

www.investigacionyciencia.es/blogs





LA NUEVA METODOLOGÍA de evaluación del riesgo sísmico se ha aplicado a la ciudad de Barcelona. Dado que esta cuenta con una gran base de datos estadísticos sobre la población y numerosos estudios sobre posibles seísmos y el comportamiento de los edificios, constituye un buen modelo de estudio. Los mapas corresponden a índice de riesgo físico (que se ha calculado por barrios), el coeficiente de agravamiento (por distritos) y el índice de riesgo total. El riesgo físico es mayor en el centro histórico, donde se levantan las construcciones más antiguas; conforme nos alejamos hacia barrios donde los edificios son más nuevos, el riesgo físico disminuye. En las zonas con mayor coeficiente de agravamiento (peores condiciones socioeconómicas) la gestión del riesgo puede resultar más compleja.



Índice de riesgo total

otros órganos implicados en la gestión del mismo.

Por ello hemos desarrollado una metodología que evalúa el riesgo sísmico desde una perspectiva integral, holística. El nuevo método, publicado en 2012 en el *Bulletin of Earthquake Engineering*, no solo estima el daño esperado en los edificios y su efecto sobre las personas (pérdidas potenciales), sino que también tiene en cuenta la fragilidad social y la falta de resiliencia del centro urbano, factores que pueden agravar la situación. Es decir, aparte de las características de los edificios, considera las fortalezas y debilidades sociales y de gobernabilidad de la ciudad.

Entre las variables que describen la fragilidad social se han valorado la tasa de delincuencia, la existencia de áreas marginales, la tasa de mortalidad, el índice de disparidad social y la densidad de población; asimismo, el modelo incluye el número de camas hospitalarias, de médicos por habitante, de bomberos, el nivel de desarrollo o la capacidad de respuesta ante emergencias.

Conjuntos difusos

Para calcular el riesgo de forma integral se requieren gran cantidad de datos que no siempre se hallan disponibles o bien son incompletos. En estos casos, los vacíos de información pueden llenarse con la valoración de expertos locales (representantes de las instituciones que gestionan el riesgo y técnicos externos). Se consulta su opinión, que emiten en forma de calificaciones cualitativas («mucho», «poco», «leve», «grave»...) para las variables del riesgo.

¿Cómo trasladar esas expresiones lingüísticas cualitativas al formalismo matemático necesario para la cuantificación del riesgo? Una opción consiste en recurrir a la teoría de conjuntos difusos, una herramienta matemática que permite manejar conceptos cualitativos de forma cuantitativa. Estos conjuntos sin límites perfectamente definidos proporcionan información menos precisa que los valores numéricos pero resultan de gran utilidad para el tratamiento matemático del lenguaje natural. (Cabe resaltar que si para la ciudad que se estudia se dispone de buena información, no sería necesario recurrir a la opinión de expertos y al uso de la teoría de conjuntos difusos para la evaluación holística del riesgo.)

Una vez se han parametrizado todas las variables, se procede a la evaluación del riesgo. Primero, a partir de los aspectos físicos se calcula un índice de riesgo físico. Luego, de las variables contextuales (de índole socioeconómica y de falta de resiliencia) se deduce un coeficiente de agravamiento. Por fin, a partir del índice de riesgo físico y el coeficiente de agravamiento se obtiene un índice de riesgo total.

Este método para la evaluación del riesgo sísmico a escala urbana permitiría realizar simulaciones de desastres y analizar la situación en una etapa previa a la ocurrencia de un terremoto. Ello facilitaría el desarrollo de estrategias y la aplicación de medidas para la minimización de los daños.

—Martha Liliana Carreño
y Alex H. Barbat
Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE)
Universidad Politécnica de Cataluña
—Omar D. Cardona
Universidad Nacional de Colombia en Manizales
CIMNE

CORTESÍA DE LOS AUTORES

Claves de la alimentación

La comida, parte diaria y esencial de nuestra vida, es rica en misterios. En este número especial examinamos cuestiones de apariencia elemental para las que no tenemos respuestas sencillas. ¿Cómo han cambiado nuestros hábitos alimentarios? Los cultivos transgénicos ¿son beneficiosos o dañinos? ¿A quién se le ocurrió la primera infusión de café? Para empezar, abordaremos el más duradero de todos los misterios: ***¿qué hace que un alimento sepa bien?***



Michael Moyer

DAN SAELINGER (*fotografía*); DOMINIQUE BAYNES (*diseño*)

El gusto no es lo que se cree. Se nos enseña en la escuela que constituye uno de los cinco sentidos (compañero del olfato, la vista, el tacto y el oído), y que se produce por el contacto de la comida con unos botones gustativos que envían al cerebro señales importantes: dulce o amargo, nutritivo o tóxico. ¡Qué simpleza!

Nuestro conocimiento sobre el gusto y los sabores ha avanzado enormemente en los últimos diez o doce años. Se nos ha revelado la miríada y complejidad de formas en que la ingesta influye sobre nuestra consciencia y la modifica, así como los numerosos mecanismos por los que nuestras preferencias y prejuicios repercuten en la experiencia gustativa. Lo delicioso es a la vez algo inherente y aprendido, individual y universal. Se sustenta en los cinco sentidos (audición incluida), en una interacción sutil e insospechada de un conjunto de señales sensoriales, sometidas a una supervisión general por ese amasijo de tejido nervioso que llamamos cerebro.

Empecemos por el principio. La comida llega a la boca, se encuentra con los dientes y comienza a ser fragmentada por las enzimas de la saliva. El bocado no tarda en desplazarse sobre nuestras papilas gustativas, millares de protuberancias que revisten la lengua ❶. Cada papila alberga los botones gustativos, unas estructuras bulbosas formadas por entre 50 y 100 células replegadas unas sobre otras como los pétalos en la yema de una flor. Tales células cuentan con receptores químicos que identifican los cinco sabores básicos: amargo, dulce, agrio, salado y umami, palabra esta última tomada del japonés para describir los sabores de la carne asada o de la salsa de soja ❷.

Estos cinco sabores bastan para ayudarnos a decidir si lo que acabamos de llevarnos a la boca debe continuar su viaje en el tubo digestivo: si es dulce o sabroso, probablemente resulte nutritivo; si es amargo, tal vez sea tóxico. Pero sus combinaciones no se acercan, ni de lejos, a dar cuenta de la complejidad de los sabores que percibimos.

Para ello usamos la nariz. Al introducir en la boca un manjar, se fuerza la en-

❶ *El mapa lingual de sabores de los textos escolares se fundaba en un diagrama, erróneamente entendido, de un artículo publicado en 1901.*

❷ *Algunos investigadores sostienen que ha de ampliarse la lista y dar cabida a los sabores untuoso, metálico y kokumi, que conferirían «amplitud» o «viveza».*



Salud
Adicción a la comida
Paul J. Kenny
Página 24

Salud
Erradicar la obesidad
David Meyre y Philippe Froguel
Página 34

Salud
¿Cuántas calorías aportan los alimentos?
Rob Dunn
Página 30

trada de aire por conductos ubicados en el velo del paladar; allí, receptores de aromas ubicados en la cavidad nasal detectan miles de compuestos volátiles que, integrados, generan sabores complejos (*véase el recuadro* «Mapa de sabores»). Esta olfacción retronasal no guarda apenas relación, en el plano fisiológico, con el olor de la comida. Nuestro cerebro reconoce de dónde proceden las señales olfativas; sabe si le llegan de las ventanas de la nariz o desde el velo del paladar, en cuyo caso las integra con las señales de las papilas. La olfacción retronasal genera un percepto absolutamente singular: no es solo un olor o un sabor, sino eso que se denomina «paladar». Se trata de un proceso tan irreversible y transformador como la conversión de la cera y el oxígeno en llama.

Pero el sentido del gusto no termina en la boca. Se ha visto en años recientes que existen receptores gustativos por todo el organismo, lo que ha permitido desvelar misterios clásicos. Los fisiólogos llevaban cincuenta años tratando de averiguar por qué la ingesta de glucosa provocaba una emisión de insulina mucho más acusada que cuando se inyectaba la misma dosis de glucosa en el torrente circulatorio. En 2007 se descubrió que ciertas células que recubren el intestino delgado disponían también de receptores gustativos. Cuando estos detectan la presencia de azúcar, activan una cascada de hormonas que desemboca en una liberación de insulina en la sangre ❸.

El sentido del gusto no se limita tampoco al aparato digestivo. La nariz está revestida de células que perciben los compuestos amargos. Si el aire contiene sustancias tóxicas, un acto reflejo nos hace dejar de inspirarlo, y si estas llegan a la

❸ *Sorprendentemente, estos receptores del gusto sufren, igual que la lengua, el engaño de los edulcorantes artificiales: el aspartamo también provoca la liberación de insulina.*



Cultura
Millones de años de comida procesada
Evelyn Kim
Página 44

Cultura
La alimentación en la sociedad española
Cecilia Díaz Méndez
Página 54

Cultura
El primer asado
Entrevista con Richard Wrangham
Página 50

Cultura
La mente de los vegetarianos
Claudia Christine Wolf
Página 62

garganta, los receptores de amargor provocan la activación de cilios que ayudan a eliminarlas de las vías respiratorias ❹.

Tales procesos fisiológicos quizás expliquen en qué consiste el sabor, pero no permiten entender el motivo de nuestras preferencias gustativas. Estas se van plasmando a lo largo de la vida y, de hecho, empiezan ya en el vientre materno. Si la madre ha tomado ajos durante la gestación, el lactante tenderá a encontrar agradable el sabor de ajo en la leche materna; y si ingería zumo de zanahoria, a sus hijos probablemente les gustará esa hortaliza ❺. La explicación evolutiva resulta bastante simple: si «mamá» lo come, no hay peligro.

De hecho, nuestros amigos y seres queridos cumplen un rol muy parecido al de los catadores de alimentos de los reyes medievales: solemos dejar que hagan la prueba, y miramos qué tal les va veinte minutos después. El mismo principio vale para toda la cadena trófica. En fecha reciente, unos científicos tuvieron la idea de separar de su camada a una rata y forzarla a tomar un poco de cacao, cuyo sabor es detestado por estos múridos ❻. Después devolvieron el animal a su grupo. Cuando sus compañeras detectaron el olor del cacao en el aliento de la primera, cambiaron de opinión; desde entonces nunca se hartaban de él.

A los niños cuesta más convencerlos. Por término medio, han de probar un alimento desconocido unas nueve veces antes de que empiece a gustarles ❼. Como bien saben sus padres, el futuro disfrute del nuevo sabor depende en parte de su capacidad de persuasión. Lo mismo vale para los adultos, como vienen demostrado decenios de sagaces y elaboradas campañas de mercadotecnia alimentaria.

El ambiente envía numerosos indicios sobre el previsible sabor de un manjar. En cierto experimento, se conectó a la lengua de los probandos un dispositivo eléctrico de poco voltaje. A continuación, se les

❹ *Cuanto más se busca, más receptores del gusto aparecen en los lugares más inesperados. La vejiga urinaria está revestida de receptores de dulzor. La columna vertebral posee receptores de agreza. Y lo más inusitado: los testículos tienen capacidad para sentir lo amargo, y el semen, el sabor umami.*

❺ *Se han realizado también ensayos con el anís, la menta, la vainilla y el bocado preferido de los más jóvenes: los quesos azules.*

❻ *La variedad no endulzada, seguramente demasiado amarga.*

❼ *Aunque el número de intentos puede variar.*



Recursos
Un ensayo agrícola a gran escala
Fusuo Zhang, Xinping Chen y Peter Vitousek
Página 80

Recursos
Cultivos transgénicos: sigue el debate
David H. Freedman
Página 72

Recursos
Tierra prodigiosa
Richard Conniff
Página 68

mostraron fotografías de alimentos y se les aplicó una leve descarga sobre las papilas gustativas (lo que producía una sensación similar a la de lamer una pila). Se esperaba que la descarga neutralizara el gusto. Al preguntarles después si les había resultado agradable o molesta, los voluntarios que miraron fotos de alimentos dulces o suculentos valoraron el estímulo como mucho más grato que los que vieron alimentos hipocalóricos.

Los efectos visuales o auditivos pueden resultar tan obvios que rozan lo cómico. Las patatas fritas tienen un sabor más crujiente si al morderlas oímos un crujido en unos auriculares. Vinos blancos con unas gotas de colorante rojo parecen tener el buqué del vino tinto, incluso para catadores experimentados. Si el alimento se presenta en un plato de color rojo, se tiende a comer menos. Un taco de queso, de aristas nítidas, tiene un sabor más definido que si es redondeado.

No todo se origina en la boca, o en esta y la cavidad retronasal, o en ambas y las células gustativas del intestino. Lo que nos resulta delicioso depende de nuestra madre, de nuestra infancia, de la sala o lugar donde comamos, de los manjares y de los comensales. La mente y la química juegan por igual.

Los efectos de este apetito, de esta búsqueda de lo delicioso, van mucho más allá de las papilas gustativas (o del perímetro de la cintura). En este número especial se explorarán algunas de las asombrosas formas en que la alimentación sigue transformando el mundo. Hemos organizado los artículos en tres secciones. En la primera, *Salud*, se examinan los efectos de ciertas conductas o hábitos alimentarios sobre nuestro estado de salud. En la segunda, *Cultura*, se indaga en los cambios experimentados por la humanidad a causa de los alimentos, desde el origen de la cocina, que tal vez promovió nuestra evolución, hasta aspectos sociales de nuestro comportamiento alimentario. En la tercera, *Recursos*, se esbozan métodos para ampliar de modo inteligente el suministro de alimentos.

Como se podrá apreciar en estas páginas, hemos aprendido mucho sobre los alimentos. Pero más nos falta por saber.

Michael Moyer *es el editor de proyectos especiales de* Scientific American

PARA SABER MÁS

Taste: Making sense of flavour. Número especial de *Nature*, vol. 486, suplemento, págs. S1-S43, 21 de junio de 2012.
Can we feed the world? The future of food. Libro electrónico de *Scientific American*, 19 de agosto de 2013.
http://books.scientificamerican.com/sa-ebooks.
El mundo de los sentidos. Cuaderno de *Mente y cerebro* n.º 6, 2013.

MAPA DE SABORES

Sensaciones comunes

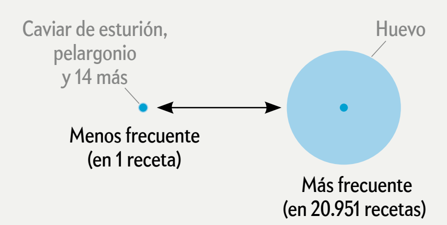
Se atribuye a Julia Child el aserto de que la grasa porta el sabor, pero tal vez debamos agradecérselo al ácido 4-metilpropanoico. El gusto característico de los alimentos se debe a conjunciones peculiares de compuestos como el citado. Varios chefs con una mentalidad científica han asegurado que ingredientes a primera vista inconexos (como el chocolate y el queso azul) casarían perfectamente en un mismo plato si tuvieran en común suficientes compuestos saporíferos. Esta hipótesis, verificada de forma científica, ha permitido confeccionar un mapa de sabores, del cual reproducimos aquí una variante. Los manjares que comparten sabores se hallan conectados por líneas cuyo grosor guarda relación con la abundancia de elementos comunes. Al cotejar las redes de sabores con diversos recetarios, se ha llegado a la conclusión de que los cocineros tienden a maridar ingredientes que comparten saporíferos, aunque solo en la cocina occidental. En los recetarios de Asia oriental se propende, en cambio, a combinar ingredientes con escasa superposición de sabores.

Cómo interpretar el diagrama

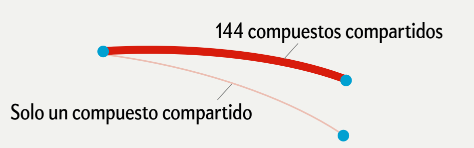
Cada círculo azul corresponde a un alimento; en función de su semejanza, los ingredientes y comestibles se hallan agrupados en 14 columnas, o categorías, ordenadas alfabéticamente.



El tamaño del círculo indica la popularidad del alimento, entendida como la frecuencia de su aparición en una base de datos mundial que contiene 56.498 recetas.



Si dos puntos están conectados por una línea, los dos alimentos comparten al menos un compuesto saporífero; cuantos más, más gruesa. Las líneas rojas conectan alimentos de diferentes categorías.



Las líneas grises conectan alimentos de una misma categoría.



La posición del alimento en su columna revela el número total de alimentos que conectan con él. Los situados en cabeza comparten sabores con otros muchos; los del pie son singulares, no tienen sabores en común con otros alimentos.

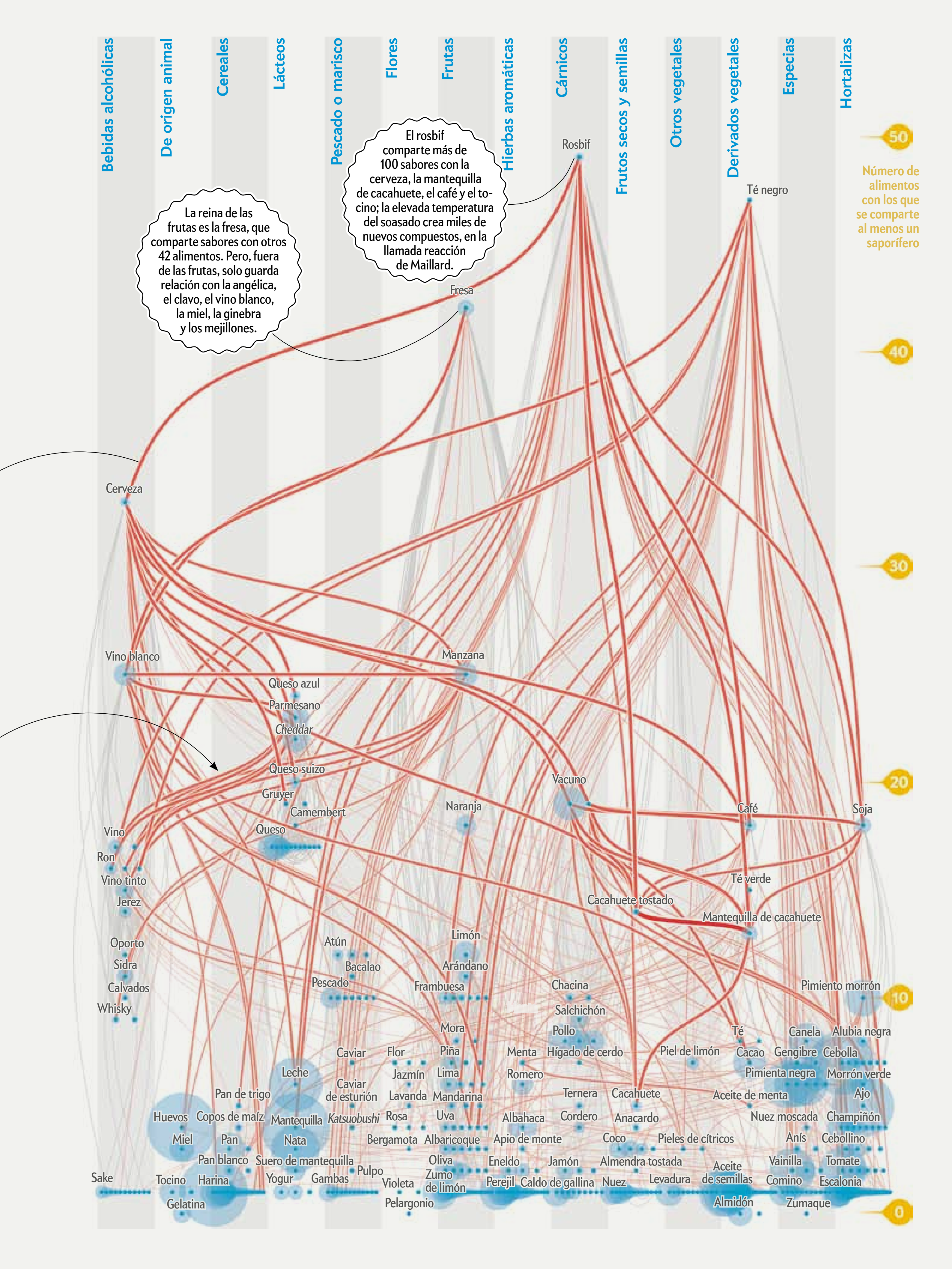
Por limitaciones de espacio, solo se ha rotulado el ingrediente más popular de un grupo de círculos.

Entre los alimentos con sabores de otras categorías (exceptuados los cacahuetes tostados y la mantequilla de cacahuete), la cerveza y el rosbif son los que más comparten: 106 coincidencias. Les siguen los pares manzana/vino blanco y café/rosbif, ambos con 105.

Los vinos y los quesos contienen muchos compuestos que suscitan el mismo sabor.

Los tres ingredientes más comunes en las recetas son los huevos, la harina y la mantequilla, que figuran en más de 20.000. Completan la lista de los diez más frecuentes la cebolla, el ajo, la leche, el aceite de semillas, la nata, el tomate y el aceite de oliva.

FUENTE: «FLAVOR NETWORK AND THE PRINCIPLES OF FOOD PAIRING», POR YONG-YEOL AHN, SEBASTIAN E. AHNERT, JAMES P. BAGROW Y ALBERT-LÁSZLÓ BARABÁSI, EN *SCIENTIFIC REPORTS*, VOL. 1, ART. N.º 196, 15 DE DICIEMBRE DE 2011. NUESTRO AGRADECIMIENTO A SEBASTIAN AHNERT; JAN WILLEM TULP (*gráfico*)



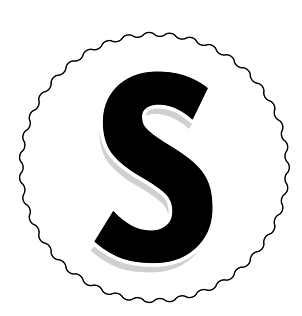
Bebidas alcohólicas
De origen animal
Cereales
Lácteos
Pescado o marisco
Flores
Frutas
Hierbas aromáticas
Cárnicos
Frutos secos y semillas
Otros vegetales
Derivados vegetales
Especias
Hortalizas
El rosbif comparte más de 100 sabores con la cerveza, la mantequilla de cacahuete, el café y el tocino; la elevada temperatura del soasado crea miles de nuevos compuestos, en la llamada reacción de Maillard.
La reina de las frutas es la fresa, que comparte sabores con otros 42 alimentos. Pero, fuera de las frutas, solo guarda relación con la angélica, el clavo, el vino blanco, la miel, la ginebra y los mejillones.
Número de alimentos con los que se comparte al menos un saporífero
50
40
30
20
10
0
Rosbif
Té negro
Fresa
Cerveza
Vino blanco
Manzana
Queso azul
Parmesano
Cheddar
Queso suizo
Gruyer
Camembert
Queso
Vacuno
Naranja
Café
Soja
Vino
Ron
Vino tinto
Jerez
Té verde
Cacahuete tostado
Mantequilla de cacahuete
Oporto
Sidra
Calvados
Whisky
Atún
Bacalao
Pescado
Limón
Arándano
Frambuesa
Chacina
Salchichón
Pimiento morrón
Mora
Pollo
Té
Canela
Alubia negra
Caviar
Flor
Piña
Menta
Hígado de cerdo
Piel de limón
Cacao
Gengibre
Cebolla
Leche
Jazmín
Lima
Romero
Pimienta negra
Morrón verde
Caviar de esturión
Pan de trigo
Lavanda
Mandarina
Ternera
Cacahuete
Aceite de menta
Ajo
Huevos
Copos de maíz
Mantequilla
Katsuobushi
Rosa
Uva
Albahaca
Cordero
Anacardo
Nuez moscada
Champiñón
Miel
Pan
Nata
Bergamota
Albaricoque
Apio de monte
Coco
Pieles de cítricos
Anís
Cebollino
Pan blanco
Suero de mantequilla
Pulpo
Oliva
Eneldo
Jamón
Almendra tostada
Aceite de semillas
Vainilla
Tomate
Sake
Tocino
Harina
Yogur
Gambas
Violeta
Zumo de limón
Perejil
Caldo de gallina
Nuez
Levadura
Comino
Escalonia
Gelatina
Pelargonio
Almidón
Zumaque

NEUROCIENCIA

Adicción a la comida

Nuevas investigaciones sobre el cerebro revelan por qué las grasas y los azúcares hacen que cada vez más personas sufran obesidad

Paul J. Kenny



OLO POR SATISFACER SU DESEO de chocolate, una rata se arriesgaría a morir, según ha comprobado nuestro grupo hace poco. En un experimento permitimos que la ratas accedieran de modo ilimitado a su comida habitual, así como a una zona repleta de apetecibles alimentos hipercalóricos: salchichas, tarta de queso, chocolate. Los múridos disminuyeron su ingesta de los elementos sanos pero insulsos y consumieron casi exclusivamente la comida rica en calorías. Ganaron peso hasta volverse obesos.

JAMES WORRELL





Paul J. Kenny es profesor del Instituto de Investigación Scripps de Jupiter, en Florida. Su laboratorio investiga los mecanismos que intervienen en la drogadicción, la obesidad y la esquizofrenia, así como los tratamientos para estos trastornos.

A continuación, mediante un pulso de luz advertimos a las ratas de la llegada de un impacto desagradable en sus patas mientras comían. Las que ingerían alimentos insípidos los abandonaban enseguida y se iban corriendo, pero las obesas continuaban devorando la comida rica, ignorando la advertencia que habían aprendido a temer. Su deseo hedonista prevalecía sobre su sentido básico de supervivencia.

Nuestros descubrimientos se asemejan a otros realizados con anterioridad por Barry Everitt en la Universidad de Cambridge, salvo que sus ratas eran adictas a la cocaína.

¿Presentan entonces las ratas obesas adicción a la comida? La incapacidad de reprimir un comportamiento, a pesar de las consecuencias negativas, resulta habitual en la adicción. En determinadas personas se están hallando conductas compulsivas similares. Casi todos los obesos afirman que desean consumir menos; sin embargo, continúan comiendo más de lo necesario aunque saben que ello puede acarrearles consecuencias negativas para su salud y vida social. Algunos estudios demuestran que la sobrealimentación activa los sistemas de recompensa de nuestro cerebro; en algunas personas la magnitud de ese efecto vence a los mensajes que el cerebro les envía cuando ya han consumido suficiente. Como ocurre en los alcohólicos y drogadictos, cuanto más comen más quieren comer. Sea o no técnicamente una adicción, si la sobrealimentación estimula los mismos circuitos cerebrales que el consumo de drogas, los medicamentos que inhiben el sistema de recompensa podrían ayudar a que la gente obesa comiera menos.

HORMONAS SOSPECHOSAS

Hasta principios de los años noventa del siglo xx, la sociedad veía la obesidad únicamente como un trastorno del comportamiento: los individuos con sobrepeso tenían poca fuerza de voluntad y escaso autocontrol. Desde entonces, la visión ha cambiado de forma drástica, al menos en la comunidad científica.

El primer cambio de opinión surge del trabajo pionero de Douglas Coleman, del Laboratorio Jackson en Bar Harbor (Maine), y de Jeffrey Friedman, de la Universidad Rockefeller. Sus experimentos con dos cepas de ratones, ambas con una tendencia genética a la obesidad y la diabetes, determinaron qué llevaba a los múridos a sobrealimentarse. Descubrieron que una de las cepas presentaba un defecto genético en las células adiposas que segregan una hormona llamada leptina. Los ratones, igual que los humanos, suelen producir leptina después de comer para suprimir el apetito y evitar una ingesta excesiva. Pero los ratones obesos mostraban una deficiencia en leptina y un apetito insaciable. Más tarde se halló que la obesidad de la segunda cepa estaba causada por un defecto genético que les impedía responder a la leptina y regular sus acciones. Tales descubrimientos parecen dejar claro que las hormonas regulan el apetito y, por consiguiente, el peso corporal. Un desequilibrio hormonal podría empujar a comer de más; de hecho, la obesidad hace estragos en familias humanas con deficiencias genéticas relacionadas con la leptina.

Sin embargo, dos observaciones sugieren que ver la obesidad como un trastorno hormonal resulta demasiado simplista. Primero, tan solo una reducida parte de los obesos de EE.UU. y de otros lugares presenta una deficiencia genética que afecta a las hormonas relacionadas con el apetito. Segundo, en los análisis sanguíneos de personas obesas deberíamos detectar un bajo nivel de las hormonas inhibidoras del hambre o un alto nivel de las que lo estimulan. No obstante, ocurre lo contrario. Los individuos obesos suelen exhibir, de manera paradójica, una elevada concentración de hormonas inhibidoras, incluidas la leptina y la insulina.

Aquí es donde el concepto de adicción a la comida entra en juego. Las hormonas que controlan el apetito afectan a determinadas vías neuronales (circuitos de alimentación) en el hipotálamo. También intervienen en sistemas cerebrales responsables de las sensaciones de recompensa, lo cual tiene mucho sentido. Si uno no ha comido durante varias horas, empleará mucho tiempo, esfuerzo y dinero en conseguir alimentos, ¡y le sabrán muy bien! Como dice el viejo refrán: «A buen hambre, no hay pan duro».

Cuando se tiene apetito, las hormonas aumentan la reactividad de los circuitos cerebrales de recompensa asociados a la comida, de manera particular en el núcleo estriado. Esa región contiene altas concentraciones de endorfinas (sustancias que potencian las sensaciones de placer y gratificación).

Mientras comemos, el estómago y el intestino liberan hormonas inhibidoras del apetito que disminuyen las señales de placer desencadenadas por el núcleo estriado y otros componentes del sistema de recompensa. Este proceso hace que la comida resulte menos atrayente, por lo que dejamos de comer y nos dedica-

EN SÍNTESIS

Investigaciones recientes demuestran que la sobrealimentación no constituye un trastorno del comportamiento, como una falta de autocontrol, y no está causada por un desequilibrio hormonal.

En lugar de ello, las comidas ricas en grasas y azúcares sobrecargarían el sistema de recompensa del cerebro, lo que reduciría su capacidad de informar al individuo que dejase de comer. En esos casos, cuanto más se come, más se desea seguir haciéndolo.

Saber que tal mecanismo corresponde a una adicción solo importa si ayuda a desarrollar tratamientos. El fármaco rimonabant, puede reducir el deseo de comer, pero tiene efectos secundarios peligrosos. Hace falta continuar investigando si las redes cerebrales implicadas en la sobrealimentación coinciden con las de la drogadicción y, de ser así, si los tratamientos contra la adicción frenarían la epidemia de obesidad.

Enganchado a la comida

Nuestro cerebro nos hace mantener un peso corporal sano al indicarnos cuándo comer y cuándo dejar de hacerlo. Los circuitos de alimentación que controlan el apetito y la saciedad están regulados por hormonas (*azul*). Pero los alimentos grasos y azucarados llevan a algunas personas a comer en exceso (*rojo*). Cuanto más tienen, más quieren, sensación habitual en la drogadicción.

Sobrealimentación: ciertas sustancias del cerebro toman el control

Las comidas ricas en grasas y azúcares hacen que el núcleo estriado produzca endorfinas que provocan sensación de bienestar, lo que lleva a comer de manera compulsiva. Tales alimentos desencadenan también la liberación de dopamina (*líneas rojas*) en el núcleo estriado, que influye en el comportamiento alimentario, y en la corteza prefrontal, que interviene en la toma de decisiones. En algunas personas, la acción de las endorfinas, la dopamina y otras sustancias que regulan los sistemas de recompensa pueden dominar sobre las señales hormonales y los intentos conscientes de dejar de comer cuando se está lleno. En ellas prevalece la motivación para ingerir comidas ricas en calorías a pesar de conocer las consecuencias para su salud.

Inhibe la alimentación (*sombra rosa*)
Estimula la alimentación (*sombra verde*)
Área tegmental ventral
Tálamo
Núcleo estriado
Endorfinas
Núcleo arcuato
Hormonas estimulantes del apetito
Corteza prefrontal
Dopamina
Hormonas inhibidoras del apetito
Hipotálamo
Amígdala
Núcleo del tracto solitario
Vista
Hipocampo
Olfato
Gusto

Perspectivas de tratamiento

Las drogas adictivas provocan la liberación de dopamina y bucles de retroalimentación en el cerebro que llevan a un consumo compulsivo, igual que sucede con la ingesta de comidas hipercalóricas. Los medicamentos que logren romper este ciclo podrían aliviar no solo la drogadicción, sino también la obesidad.

Alimentación normal: las hormonas indican cuándo empezar y cuándo acabar

Las hormonas intestinales estimulantes del apetito (*líneas azules continuas*) alertan a los circuitos de alimentación del hipotálamo. También estimulan los centros de recompensa, como el área tegmental ventral y el núcleo estriado, lo que aumenta el placer asociado a la comida. A medida que el intestino se va llenando y los niveles de nutrientes en sangre ascienden, se liberan en el hipotálamo y en los centros de recompensa hormonas de inhibición del apetito, como leptina e insulina (*líneas azules discontinuas*), que suprimen la sensación de hambre y reducen el placer, lo que hace menos apetecible la comida.

BRYAN CHRISTIE

mos a otras ocupaciones. Las hormonas que regulan el apetito controlan la alimentación, en parte mediante la modulación de la experiencia placentera asociada a la ingesta.

Sin embargo, algunos alimentos actuales muy apetecibles (ricos en grasas y azúcares, a menudo visualmente atrayentes) afectan de una manera tan fuerte a los sistemas de recompensa que neutralizan a las hormonas inhibidoras del apetito, incitándonos a comer. Este tipo de productos activan nuestros circuitos de recompensa con una intensidad que supera la capacidad de la leptina para desactivarlos. Cualquiera de nosotros ha experimentado este efecto: acabamos de terminar una gran cena y nos parece imposible ingerir nada más. Sin embargo, cuando aparece el pastel de chocolate, milagrosamente hallamos espacio para un último bocado (que resulta ser el más calórico del día).

Ahí está la trampa. Hemos desarrollado un eficiente sistema cerebral que nos ayuda a mantener un cuerpo sano y de peso constante, al indicarnos cuándo debemos comer y cuándo debemos dejar de hacerlo. Pero las comidas altamente apetecibles pueden anular estas señales y provocar que se gane peso.

El cuerpo responde a esta anulación elevando los niveles de hormonas inhibidoras del apetito, como la leptina y la insulina, más y más conforme el peso corporal aumenta; pero las hormonas se vuelven cada vez menos efectivas, dado que el organismo desarrolla una tolerancia a su acción. Además, los estudios de neuroimagen realizados en el Laboratorio Nacional Brookhaven y en el Instituto de Investigación de Oregón revelan que los sistemas de recompensa de los individuos con sobrepeso apenas responden a la comida, ni siquiera a la comida basura. La amortiguación de los circuitos de recompensa deprime el

ánimo. ¿Cómo se sobrepone el individuo a esta depresión? Ingiriendo más alimentos apetecibles para animarse de manera temporal, con lo que se perpetúa el círculo vicioso. Los obesos comerían en exceso para obtener el mismo grado de placer que el experimentado por los delgados comiendo menos.

La obesidad no parece estar causada por una falta de voluntad. Y no siempre se debe a un desequilibrio hormonal. Al menos en algunos casos, podría estar ocasionada por el placer de comer en exceso, o hiperfagia hedónica, el cual secuestra los circuitos de recompensa del cerebro. Como ocurre con las drogas adictivas, la ingesta excesiva crea un bucle de retroalimentación en los centros cerebrales de la recompensa (cuanto más se come, más se desea comer, pero más difícil es satisfacer ese deseo).

Pero ¿significa ello que el placer de comer en exceso constituya una adicción?

TOLERANCIA Y RECAÍDA

Las drogas, tales como la morfina, estimulan los sistemas cerebrales de recompensa de la misma manera que la comida. Y las semejanzas no terminan ahí. Cuando se inyecta morfina en el núcleo estriado de ratas, estas se dan un atracón, incluso si antes se las ha alimentado hasta la saciedad. Tal respuesta demuestra que la morfina y otros opiáceos imitan los efectos de los neurotransmisores (sustancias cerebrales), como las endorfinas que se producen de manera natural en el cerebro para estimular la alimentación.

Por tanto, podemos esperar que las drogas que inhiben la acción de las endorfinas reduzcan la hiperfagia hedónica. De hecho, algunos estudios recientes han revelado que los inhibidores de endorfinas disminuyen la activación de los circuitos de recompensa en humanos y roedores en presencia de comida apetecible (los sujetos comen menos). Los inhibidores pueden reducir también el consumo de heroína, alcohol y cocaína en humanos drogadictos, lo que hace pensar que existen mecanismos comunes que regulan la sobrealimentación y el consumo de drogas. De modo sorprendente, las ratas que se dan un atracón de comida cada día y que son tratadas con inhibidores de endorfinas exhiben conductas muy semejantes a las del síndrome de abstinencia, uno de los síntomas de la drogadicción. Este comportamiento apoya la llamativa idea de que la hiperfagia hedónica puede inducir estados similares a los de la drogodependencia.

Tales hallazgos refuerzan la noción de que comer en exceso presenta, en algunas circunstancias, las mismas características básicas que la drogadicción. Observamos un paralelismo semejante con el efecto de otro neurotransmisor fundamental: la dopamina. Todas las drogas adictivas conocidas producen la liberación de esa molécula en el núcleo estriado. La dopamina resulta esencial para la motivación, lo que incentiva la búsqueda de la droga. La mayoría de los expertos sostienen que ello conduce al desarrollo de la adicción, aunque discrepan sobre los mecanismos particulares que intervienen. Resulta que la comida apetecible también estimula la liberación de dopamina en el núcleo estriado, lo que empuja a obtener e ingerir alimentos. Algunos estudios de neuroimagen revelan que el núcleo estriado de individuos obesos muestra niveles bajos de un receptor de la dopamina, el receptor D2 (D2R). Lo mismo sucede en los alcohólicos o los adictos a los opiáceos, la cocaína o la metanfetamina.

Se sabe también que las personas que nacen con concentraciones reducidas de D2R presentan un riesgo genético mayor de desarrollar obesidad y drogadicción. Tal deficiencia lleva a una menor actividad de los sistemas cerebrales de recompensa, lo que sugiere que tales individuos comerían en exceso solo para obtener el mismo placer de los alimentos que aquellos sin ese defecto. También les cuesta aprender a evitar las acciones de consecuencias negativas; en ellos los sistemas cerebrales involucrados en reprimir los comportamientos arriesgados pero gratificantes, como el consumo de comida hipercalórica o de drogas, funcionarían peor.



Detrás de la obesidad hay una incontrolable motivación por satisfacer los centros cerebrales de la recompensa; los problemas hormonales pueden ser una consecuencia, no una causa

Nuestro estudio en ratas apoya esta idea. Los múridos obesos que ingerían alimentos hipercalóricos a pesar de las advertencias negativas presentaban niveles reducidos de D2R en el núcleo estriado. Este y otros trabajos demuestran que el consumo de drogas en ratas adictas y la hiperfagia hedónica en ratas con sobrepeso persiste incluso cuando los animales se enfrentan a consecuencias adversas. Numerosos individuos obesos que sufren a causa de los efectos de una alimentación inadecuada se someten voluntariamente a tratamientos potencialmente peligrosos, como el balón intragástrico, para controlar lo que comen. Sin embargo, a menudo recaen y vuelven a engordar.

Este círculo vicioso de dejarse llevar por un mal hábito que proporciona placer inmediato, intentar después abstenerse de él y finalmente recaer recuerda de manera inquietante a la drogadicción. Dadas las últimas investigaciones, parece que la obesidad está causada por una poderosa motivación para satisfacer los centros de recompensa (centros de placer) del cerebro. Los desajustes hormonales y metabólicos de las personas obesas podrían ser una consecuencia, y no una causa, del aumento de peso.

NUEVOS TRATAMIENTOS POSIBLES

El parecido entre la obesidad y la adicción ha llevado a ciertos expertos a proponer que ambos trastornos se traten de la misma manera. Algunos recomiendan que se incluya la obesidad en la actualización más reciente del *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales* (biblia de la psiquiatría que proporciona directrices para el diagnóstico de las enfermedades mentales, conocida como DSM-V). Tal planteamiento desencadenó un animado debate entre neurocientíficos y psiquiatras, pero

GETTY IMAGES

los árbitros del DSM-V rechazaron por último la idea, en gran parte para evitar etiquetar a las personas obesas básicamente como enfermos mentales.

Esta cautela podría estar justificada, puesto que, a pesar de los paralelismos, la obesidad y la adicción presentan importantes diferencias. Por ejemplo, si la comida es adictiva debe contener por fuerza un componente específico que lleve a la adicción (la nicotina de la comida basura, por decirlo de algún modo). El trabajo de Nicole Avena, de la Universidad de Florida, y del difunto Bartley Hoebel, de la Universidad de Princeton, entre otros, dan credibilidad a la idea de que determinadas grasas o azúcares podrían ser los responsables. Un pequeño estudio de David Ludwig, del Hospital Infantil de Boston, sugiere que los carbohidratos altamente procesados y de rápida digestión provocarían ansiedad. Pero en general, las investigaciones indican que no hay un ingrediente único que active comportamientos adictivos. Parece más bien que es la combinación de grasas y azúcares, junto con el contenido calórico, la que maximiza el efecto hedónico de la comida.

Otros expertos, entre los que se incluyen Hisham Ziauddeen, I. Sadaf Farooqi y Paul C. Fletcher, de la Universidad de Cambridge, creen que la tolerancia y el síndrome de abstinencia no se producen de igual modo en las personas obesas y en los drogadictos. Arguyen que la obesidad y la drogadicción presentan diferencias fundamentales. Pero este punto de vista resulta discutible. Que los individuos obesos deban comer más y más para vencer la menor activación de las redes de recompensa del cerebro hace pensar en el concepto de «tolerancia». Y la pérdida de peso puede desencadenar un estado de ánimo negativo y depresión semejantes a los observados en los adictos rehabilitados que intentan abandonar la droga, lo que recuerda al síndrome de abstinencia.

Otros científicos consideran disparatada la noción de adicción a la comida, dado que todos somos, de alguna manera, adictos a los alimentos. Si no lo fuéramos, no sobreviviríamos.

El rasgo distintivo en la obesidad, según mi opinión, radica en que las comidas hipercalóricas de hoy actúan sobre nuestras redes biológicas autorreguladoras de un modo diferente al resto de alimentos. Durante millones de años de evolución, la mayor preocupación de los humanos no consistía en saciar el apetito, sino en cazar, recolectar y cultivar suficientes recursos para resistir los tiempos difíciles. Quizá nuestros circuitos de alimentación resultan más eficientes en motivar la ingesta cuando estamos hambrientos que en reprimirla cuando ya estamos saciados. Es fácil imaginar que el cerebro considere muy ventajoso ingerir alimentos hipercalóricos de más si no está claro cuándo podremos llevarnos de nuevo algo a la boca. Quizás este comportamiento ya no sea adaptativo y se haya vuelto contraproducente en un mundo donde la comida abunda.

Los investigadores que rechazan el modelo de adicción en la obesidad aportan argumentos razonables y, personalmente, temo que el término «adicción» se asocie a ciertos prejuicios. Sin embargo, la alimentación compulsiva y la drogadicción comparten rasgos comunes obvios, especialmente la incapacidad de controlar el consumo. El reto científico consiste en averiguar si tales parecidos son superficiales o surgen de las mismas alteraciones del cerebro. Aún más importante será determinar si el modelo de adicción tiene una aplicación. A menos que ayude a diseñar nuevas estrategias terapéuticas, el debate se reduce a un ejercicio académico.

Para que el modelo de adicción resulte útil, debería realizar predicciones fiables sobre las opciones de tratamiento, incluidos nuevos medicamentos. Arena Pharmaceuticals ha obtenido hace poco la aprobación de la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos de EE.UU. para comercializar un medicamento para adelgazar, llamado Belviq, destinado a adultos obesos o con sobrepeso. El fármaco estimula una proteína cerebral llamada receptor 2C de la serotonina, la cual reduce el deseo de consumir nicotina en ratas de laboratorio.

Otro medicamento es el rimonabant, que había sido aprobado en Europa para ayudar a cortar el apetito en individuos obesos. El compuesto explota la bien conocida propiedad del cannabis de aumentar el deseo de comer (los llamados antojos). La planta activa una proteína cerebral llamada receptor cannabinoide de tipo 1, por lo que se pensó que la inhibición de este disminuiría el apetito. El rimonabant ejerce exactamente esa acción. Uno de sus efectos secundarios es que debilita el deseo de fumar en los fumadores. En ratas, también reduce el deseo por el alcohol, los opiáceos y estimulantes como la cocaína.

Sin embargo, igual que con todas las sustancias potencialmente terapéuticas, se requiere cierta prudencia. El rimonabant ha provocado depresión y pensamientos suicidas en algunos individuos. Este descubrimiento motivó que las autoridades europeas suspendieran su uso y evitó que las estadounidenses lo aprobaran. No está claro por qué produjo depresión. Por ello, aunque el modelo de adicción en la obesidad pueda dar lugar a medicamentos novedosos, estas modalidades deben examinarse de modo exhaustivo.

Antes de declarar si comer en exceso constituye o no una adicción será necesario identificar de manera precisa qué redes y adaptaciones celulares del cerebro llevan a un consumo compulsivo de drogas y, por consiguiente, también de comida. Es posible, incluso probable, que aunque las redes de adicción a la cocaína y a la comida operen en partes diferentes del cerebro, empleen mecanismos similares. Hará falta también determinar si las variaciones genéticas comunes, tales como las que afectan al D2R, contribuyen a la drogadicción y a la obesidad. La identificación de esos genes podría revelar nuevas dianas terapéuticas contra ambos trastornos.

Aunque se demuestre que la obesidad surge de una adicción a la comida y se descubran medicamentos para adelgazar, los individuos obesos tendrán que enfrentarse a un factor que se ha convertido en endémico en Estados Unidos: probablemente estarán rodeados de familiares, amigos y compañeros de trabajo con sobrepeso que seguirán comiendo en exceso, lo que les situará en el mismo ambiente desfavorable en el que se hallaban antes. Como sabemos por la rehabilitación de drogadictos y alcohólicos, el entorno representa la principal causa de ansiedad y recaída. La sociedad occidental, saturada de grasas y tentaciones, se lo pondrá difícil a cualquier persona obesa que quiera dejar de serlo.

PARA SABER MÁS

Leptin receptor signaling in midbrain dopamine neurons regulates feeding. Jonathan D. Hommel et al. en *Neuron*, vol. 51, n.º 6, págs. 801-810, septiembre de 2006.

Relation between obesity and blunted striatal response to food is moderated by TaqIA A1 allele. E. Stice et al. en *Science*, vol. 322, págs. 449-452, octubre de 2008.

Dopamine D2 receptors in addiction-like reward dysfunction and compulsive eating in obese rats. Paul M. Johnson y Paul J. Kenny en *Nature Neuroscience*, vol. 13, págs. 635-641, mayo de 2010.

Obesity and the brain: How convincing is the addiction model? Hisham Ziauddeen, I. Sadaf Farooqi y Paul C. Fletcher en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 13, págs. 279-286, abril de 2012.



JUSTIN LIGHTLEY, GETTY IMAGES (*patata*); JOEL HOLLAND (*ilustración*)

NUTRICIÓN

¿Cuántas calorías aportan los alimentos?

La digestión es un proceso demasiado complejo para poderla reflejar en números. Las calorías que indican las etiquetas de los alimentos pueden diferir enormemente de las que aprovechamos en realidad

Rob Dunn



EN UN MOMENTO PARTICULARMENTE EXTRAÑO DE MI CARRERA, ME encontraba rebuscando entre los montones gigantes de estiércol producidos por los emúes, esos torpes animales australianos emparentados con los avestruces. Trataba de averiguar con qué frecuencia las semillas que atravesaban su sistema digestivo se mantenían lo suficientemente inalteradas como para germinar. Junto con mis colaboradores sembramos miles de simientes recolectadas y esperamos. Con el tiempo, crecieron pequeñas selvas.

Resulta evidente que las semillas de las plantas de las que se alimentan los emúes han evolucionado para poder sobrevivir a la digestión sin sufrir daños excesivos. Al tiempo que las aves pretenden extraer la mayor cantidad posible de calorías de los frutos, y también de las semillas, las plantas persiguen la protección de su progenie. Aunque en ese momento no se me ocurrió, más tarde me di cuenta de que los humanos también mantenemos una especie de tira y afloja con los alimentos que ingerimos, una lucha en la que calculamos mal las calorías obtenidas.

La comida aporta energía a nuestro organismo. Las enzimas digestivas de la boca, el estómago y los intestinos rompen las moléculas complejas de los alimentos en estructuras más simples, como azúcares y aminoácidos, que viajan a través de la sangre hasta los tejidos. Nuestras células utilizan la energía almacenada en los enlaces químicos de las moléculas más simples para llevar a cabo sus tareas habituales. La energía disponible en los alimentos suele expresarse mediante una unidad conocida como kilocaloría (la cantidad de energía necesaria para calentar un grado Celsius un kilogramo de agua). Las grasas proporcionan unas nueve kilocalorías por gramo, mientras que los carbohidratos y las proteínas solo cuatro. La fibra ofrece unas insignificantes dos kilocalorías porque a las enzimas del tubo digestivo humano les cuesta dividirla en moléculas más pequeñas.

El valor calórico que aparece en las etiquetas de los alimentos se basa en estas estimaciones o se deriva de ellas. Sin embargo, tales aproximaciones suponen que los experimentos de laboratorio del siglo XIX en las que se basan reflejan con precisión la cantidad de energía que obtienen las distintas personas a partir

de diferentes alimentos. Una nueva investigación ha revelado que tal presunción es, en el mejor de los casos, demasiado simplista. Para calcular con rigor el total de calorías que una persona obtiene de un alimento, debería tenerse en cuenta una inmensa variedad de factores. A saber, si el alimento ha evolucionado para sobrevivir a la digestión; cómo cambia la estructura y las propiedades químicas del comestible si se hierve, hornea, cocina en el microondas o flambea; la cantidad de energía que consume el organismo para descomponer los diferentes alimentos; y el grado en que los miles de millones de bacterias del intestino humano ayudan a la digestión, al tiempo que roban algunas calorías para sí mismas.

Los expertos en nutrición están empezando a aprender lo suficiente como para mejorar, en teoría, la precisión de las etiquetas, pero la digestión constituye un proceso tan complejo e intrincado que tal vez nunca se deduzca una fórmula para conocer el valor calórico exacto.

UN HUESO DURO DE ROER

Los errores en el cálculo del número de calorías tienen su origen en el siglo XIX, cuando el químico Wilbur Olin Atwater desarrolló un sistema, todavía utilizado hoy, para calcular el número medio de calorías presentes en un gramo de grasas, proteínas y carbohidratos. No obstante, no hay ningún alimento «medio», ya que cada uno se digiere de un modo distinto.

Piénsese en la diversa digestibilidad de los vegetales. Consumimos los tallos, hojas y raíces de cientos de plantas. Las paredes de las células vegetales de los tallos y de las hojas de algunas especies son mucho más duras que las de otras. Incluso en una misma planta, la durabilidad de las paredes puede variar. Estas suelen ofrecer mayor resistencia en las hojas viejas que en las tiernas. En general, cuanto más débiles o degradadas estén las paredes celulares del vegetal que ingerimos, más calorías obtenemos de él. La cocción destruye sin dificultad las células de las espinacas y el calabacín, pero no así las de la yuca (*Manihot esculenta*) o la castaña de agua china (*Eleocharis dulcis*). Cuando las paredes celulares se mantienen fuertes, los alimentos conservan sus preciadas calorías y atraviesan nuestro organismo sin alterarse (como numerosas semillas de cereales).

Algunas partes de las plantas han creado adaptaciones, bien para hacerse más apetitosas para los animales, o bien para impedir su digestión completa. Las frutas y los frutos secos se desarrollaron en el Cretácico (hace entre 145 y 65 millones de años), poco después de que los mamíferos empezasen a correr entre las patas de los dinosaurios. La evolución favoreció a las frutas sabrosas y fáciles de digerir, con el fin de atraer mejor a los animales que ayudaran a dispersar las semillas. Sin embargo, también promovió los frutos secos y las semillas resistentes. Después de todo, ambos tienen que sobrevivir en los intestinos de las aves, murciélagos, roedores y monos para dispersar los genes que contienen.

Los estudios sugieren que los cacahuetes, pistachos y almendras se digieren de una forma menos completa que otros alimentos con niveles similares de proteínas, carbohidratos y grasas, lo que significa que ceden menos calorías de las que cabría esperar. Un trabajo reciente realizado por Janet A. Novotny y sus colaboradores del Departamento de Agricultura de los EE.UU. reveló que cuando se comen almendras se obtienen solo 129 kilocalorías por porción, en lugar de las 170 indicadas en la etiqueta. Llegaron a esta conclusión tras pedir a un grupo de personas que siguiese la misma dieta, la cual variaba solo en la cantidad de almendras ingeridas, y después de medir en sus heces y orina las calorías no utilizadas.



Rob Dunn es biólogo en la Universidad estatal de Carolina del Norte y escritor. Sus artículos han aparecido, entre otras publicaciones, en *Natural History, Smithsonian* y *National Geographic*. Su libro más reciente es *The wild life of our bodies* (Harper, 2011).

Incluso los alimentos que no han evolucionado para sobrevivir a la digestión difieren de modo notable en su digestibilidad. Las proteínas pueden necesitar hasta cinco veces más energía para digerirse que las grasas, ya que nuestras enzimas deben desenredar las cadenas fuertemente enrolladas de aminoácidos. Sin embargo, las etiqueta no tienen en cuenta este gasto. Algunos alimentos, como la miel, se utilizan con tanta facilidad que nuestro sistema digestivo apenas se pone en marcha. Se descomponen en nuestro estómago y atraviesan con rapidez las paredes del intestino para llegar a la sangre.

Por último, algunos bocados indican al sistema inmunitario que identifique y haga frente a cualquier patógeno que puedan llevar consigo. Nadie ha evaluado en profundidad las calorías que conlleva este proceso, pero tal vez represente una cifra elevada. Un pequeño trozo de carne cruda puede albergar una gran cantidad de microorganismos potencialmente dañinos. Incluso aunque nuestro sistema inmunitario no ataque a ninguno de ellos, consumirá igualmente energía en una primera acción que le permita distinguir al amigo del enemigo. Por no mencionar la enorme pérdida de calorías que puede producirse cuando un patógeno de la carne cruda provoca diarrea.

¿QUÉ SE ESTÁ COCIENDO?

Tal vez el mayor problema de las etiquetas nutricionales actuales es que no logran dar cuenta de una actividad cotidiana que altera de forma drástica la energía que obtenemos de los alimentos, a saber, el modo en que cocemos, freímos, salteamos o procesamos de algún otro modo lo que nos comemos. Cuando estudiaba el comportamiento alimentario de los chimpancés salvajes, Richard Wrangham, ahora en la Universidad Harvard, intentó adoptar las mismas comidas que los chimpancés. Pasó hambre y al final regresó a la alimentación humana. Llegó a la conclusión de que aprender a procesar los alimentos, cocinándolos con fuego y golpeándolos con piedras, constituyó un hito de la evolución humana. Los emúes no procesan los alimentos, como tampoco ninguno de los simios. De hecho, cualquier cultura humana del

EN SÍNTESIS

En casi todos los alimentos envasados la etiqueta indica el número de calorías. La mayoría de estos recuentos son inexactos porque se basan en un cálculo que ignora la complejidad de la digestión.

Las investigaciones recientes revelan que la cantidad de calorías que obtenemos de los alimentos depende de la especie que comemos, la forma en que los preparamos, las bacterias presentes en nuestro intestino y la energía que utilizamos para digerir los diferentes comestibles.

Las cifras actuales de calorías no tienen en cuenta ninguno de esos factores. La digestión resulta tan compleja que incluso si tratamos de mejorar su cálculo, tal vez nunca logremos hacerlo con exactitud.

mundo conoce las técnicas para modificar los alimentos, entre ellas moler, calentar o fermentar. Cuando aprendimos a cocinar, especialmente la carne, se incrementó de forma espectacular el número de calorías que podíamos extraer de las comidas. Wrangham propone que la obtención de una mayor cantidad de energía permitió desarrollar y nutrir nuestro cerebro excepcionalmente grande, en relación con el tamaño del cuerpo. Pero hasta ahora, nadie ha investigado con precisión, mediante un experimento controlado, cómo el procesamiento de los comestibles modifica la energía que nos proporcionan.

Rachel N. Carmody, antigua estudiante del laboratorio de Wrangham, y sus colaboradores, nutrieron a ratones macho adultos con boniatos o con carne magra. Les sirvieron los alimentos de diversas formas (crudos y enteros, crudos y machacados, cocidos y enteros, o cocidos y machacados) y les permitieron que comiesen tanto como quisiesen durante cuatro días. Los ratones que consumieron boniatos crudos perdieron unos cuatro gramos de peso, pero los que tomaron boniatos cocidos, machacados o enteros, ganaron peso. Del mismo modo, los múridos adquirieron un gramo más de masa corporal si habían consumido carne cocinada en vez de cruda. Esta distinta respuesta tiene un sentido biológico. El calor acelera la desintegración y, por tanto, la digestibilidad de las proteínas; además elimina las bacterias, por lo que, supuestamente, reduce la energía que el sistema inmunitario debe gastar para luchar contra cualquier patógeno.

Los hallazgos de Carmody se aplican también a la transformación industrial. En un estudio de 2010, las personas que ingirieron porciones de entre 600 y 800 kilocalorías de pan integral con semillas de girasol, granos de cereales y queso *cheddar* necesitaron el doble de energía para digerir los alimentos que las que comieron la misma cantidad de pan blanco y un «producto procesado del queso». En consecuencia, los que se alimentaron con trigo integral obtuvieron un 10 por ciento menos de calorías.

Incluso si dos personas ingieren el mismo boniato o un pedazo de carne cocinada de la misma manera, no van a obtener el mismo número de calorías de dicho alimento. Carmody y sus colaboradores, que estudiaron ratones endogámicos, con características genéticas muy similares, observaron que los animales seguían presentando diferencias en el peso que ganaban o perdían bajo una determinada dieta. Las personas difieren en casi todos los rasgos, incluidos los apenas perceptibles, como el tamaño del intestino. Medir la longitud del colon no había sido una práctica habitual durante años, pero cuando se puso de moda entre los científicos europeos en la primera década del siglo xx, los estudios descubrieron que ciertas poblaciones rusas poseían un intestino grueso 57 centímetros más largo, en promedio, que el de ciertas poblaciones polacas. Debido a que las etapas finales de la absorción de los nutrientes tienen lugar en esa parte del intestino, un individuo ruso que ingiera la misma cantidad de alimento que un polaco tenderá a obtener más calorías. Las personas también varían en las enzimas que producen. En cierta medida, la mayoría de los adultos no sintetizan la lactasa, necesaria para descomponer la lactosa de la leche. Como resultado, un café con leche alto en calorías para una persona puede ser bajo en calorías para otra.

Las personas también difieren enormemente en lo que se ha llegado a considerar un órgano adicional del cuerpo humano: la comunidad de bacterias que viven en los intestinos [*véase* «El ecosistema microbiano humano», por J. Ackerman; Investigación y Ciencia, agosto de 2012]. Nuestro intestino está dominado por dos filos de bacterias, *Bacteroidetes* y *Firmicutes*. Al descubrirse que los individuos obesos albergan más *Firmicutes* en su intestino, se ha propuesto que la obesidad de algunas personas se debe, en parte, a las bacterias que poseen de más, que les ayudarían a metabolizar mejor los alimentos. De este modo, en lugar de perderse como residuos, se incorporan más nutrientes a la circulación y, si no se utilizan, se almacenan en forma de grasa. Otros microorganismos se desarrollan solo en ciertas poblaciones humanas. Algunos japoneses presentan un microorganismo que descompone con gran eficacia las algas marinas. Resulta que esta bacteria intestinal «robó» los genes que favorecen la digestión de esos vegetales a una bacteria marina que se hallaba en las ensaladas de algas crudas.

Debido a que numerosas dietas actuales contienen alimentos procesados de fácil digestión, se estarían reduciendo las poblaciones microbianas que han evolucionado para digerir la materia más fibrosa que no pueden descomponer nuestras propias enzimas. Si seguimos haciendo de nuestro intestino un entorno poco favorable para estas bacterias, tal vez obtengamos un menor número de calorías de los alimentos duros, como el apio.

Teniendo en cuenta nuestra comprensión actual de la digestión humana, ha habido escasos intentos de corregir las calorías indicadas en las etiquetas de los alimentos. Podríamos modificar el sistema de Atwater para dar cuenta de las propiedades digestivas especiales que poseen los frutos secos. Y podríamos hacerlo para cada uno de ellos o, de una forma más general, para todos los alimentos. Sin embargo, para realizar estos cambios (apoyados por el Consejo de Almendras de California, un grupo de defensa) se necesitaría estudiar cada uno de los comestibles del modo en que lo hicieron Novotny y sus colaboradores con las almendras, mediante la determinación de las calorías residuales en las heces y la orina. Las normas de la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos no impedirían que los fabricantes ajustasen los números de calorías según estos nuevos estudios. La mayor dificultad consiste en modificar las etiquetas en función de cómo se procesen los alimentos. Nadie parece haber puesto en marcha los esfuerzos necesarios para realizar este gran cambio.

No obstante, incluso si renovamos por completo las cifras de calorías, nunca serían del todo exactas, porque la energía que extraemos de los alimentos depende de una interacción compleja entre el alimento, el cuerpo humano y sus numerosos microorganismos. Tener solo en cuenta las calorías que indican las etiquetas constituye un enfoque demasiado simplista a la hora de seguir una dieta saludable. En lugar de ello, deberíamos pensar más detenidamente acerca de la energía que obtenemos de los alimentos en el contexto de la biología humana. Los comestibles procesados se digieren con tanta facilidad en el estómago y los intestinos, que nos dan una gran cantidad de energía con muy poco trabajo. Por el contrario, las verduras, los frutos secos y los cereales integrales nos exigen un mayor esfuerzo a la hora de extraer sus calorías, nos proporcionan más vitaminas y nutrientes que los productos elaborados, y favorecen a nuestras bacterias intestinales. Sería lógico, por tanto, que las personas que deseen seguir una dieta más saludable y reducir calorías consuman más alimentos integrales y crudos en detrimento de los altamente procesados. Podría denominarse la estrategia del emú.

PARA SABER MÁS

Postprandial energy expenditure in whole-food and processed-food meals: Implications for daily energy expenditure. Sadie B. Barr y Jonathan C. Wright en *Food & Nutrition Research*, vol. 54, 2010.

Discrepancy between the Atwater factor predicted and empirically measured energy values of almonds in human diets. Janet A. Novotny, Sarah K. Gebauer y David J. Baer en *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 96, n.º 2, págs. 296-301, 1 de agosto de 2012.



David Meyre es director de investigación en el Instituto Nacional de la Salud y la Investigación Médica (INSERM) francés y profesor del departamento de epidemiología clínica y de bioestadística de la Universidad McMaster en Hamilton, Canadá.

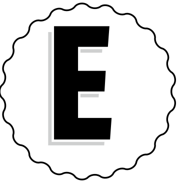
Philippe Froguel es profesor de la Universidad de Lille 2 Derecho y Salud, donde dirige una unidad del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) de Francia.

EPIDEMIOLOGÍA

Erradicar la obesidad

El conocimiento actual sobre las causas de la obesidad nos permitiría mantener a raya la epidemia. Sin embargo, falta una voluntad política fuerte a escala internacional

David Meyre y Philippe Froguel



En enero de 2012, la prensa estadounidense se regocijaba: según las últimas cifras sobre la obesidad difundidas por el Centro Nacional de Estadísticas de Salud de los Estados Unidos, la epidemia de obesidad infantil y adulta en aquel país parecía haberse estabilizado desde 2005-2006. Sin embargo, hasta el momento no se ha detenido. Más de un tercio de los estadounidenses mayores de 20 años (más de 78 millones de personas) y el 17 por ciento de los niños y adolescentes (unos 12,5 millones de personas) son obesos, es decir, su índice de masa corporal (relación entre el peso en kilogramos y el cuadrado de la altura en metros) es superior a 30. Aunque la población femenina obesa se mantiene bastante estable, la masculina ha seguido aumentando, tanto entre los adultos (del 27,5 por ciento en 1999-2000 se pasó al 35,5 por ciento en 2009-2010) como entre los niños (del 14 al 18,6 por ciento). Sobre todo, los casos de adultos con obesidad extrema (índice de masa corporal superior a 40) están en rápida progresión: según un reciente estudio de la Corporación RAND (*Research and Development*), una institución estadounidense sin fines de lucro, han aumentado el 70 por ciento entre 2000 y 2010, lo que representa el 6,6 por ciento de la población en 2010, es decir, 15 millones de personas.

EN SÍNTESIS

Con los conocimientos actuales sobre las causas de la obesidad se podría luchar contra ella. No obstante, la epidemia sigue avanzando en los países desarrollados y se prevé que en los próximos años también lo hará en los pobres o de ingresos medios.

Una de las razones de esa situación se debe a que se ha subestimado el impacto de la enfermedad, si bien se sabe que se asocia a numerosas dolencias crónicas y a un aumento de la mortalidad.

Las campañas educativas que fomenten una alimentación equilibrada desde una edad temprana o la prohibición de ciertos alimentos hipercalóricos en determinados entornos podrían cambiar la tendencia actual.

LAS MEDIDAS POLÍTICAS que fomentaran una alimentación equilibrada podrían frenar la epidemia actual de obesidad.

El caso de los Estados Unidos no supone una excepción. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el número de personas obesas en el mundo se ha duplicado desde 1980, y en 2008, 1400 millones de personas de más de 20 años tenían sobrepeso (índice de masa corporal superior a 25); de ellas, más de 200 millones de hombres y cerca de 300 millones de mujeres eran obesos, y en 2010, casi 43 millones de niños menores de cinco años presentaban sobrepeso. Además, no solo la prevalencia de la obesidad sigue aumentando en los países ricos, sino que, según la OMS, en los próximos años también lo hará en los países pobres o de ingresos medios, especialmente en América Central y del Sur, África del Norte y del Sur, y Oceanía. Los nuevos casos se darán con preferencia en las ciudades, donde el estilo de vida está cada vez más occidentalizado y las estructuras de atención sanitaria local no se ocupan de ellos [*véase* «Combatir la obesidad», por David H. Freedman; Investigación y Ciencia, abril de 2011].

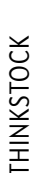
UNA EPIDEMIA SUBESTIMADA

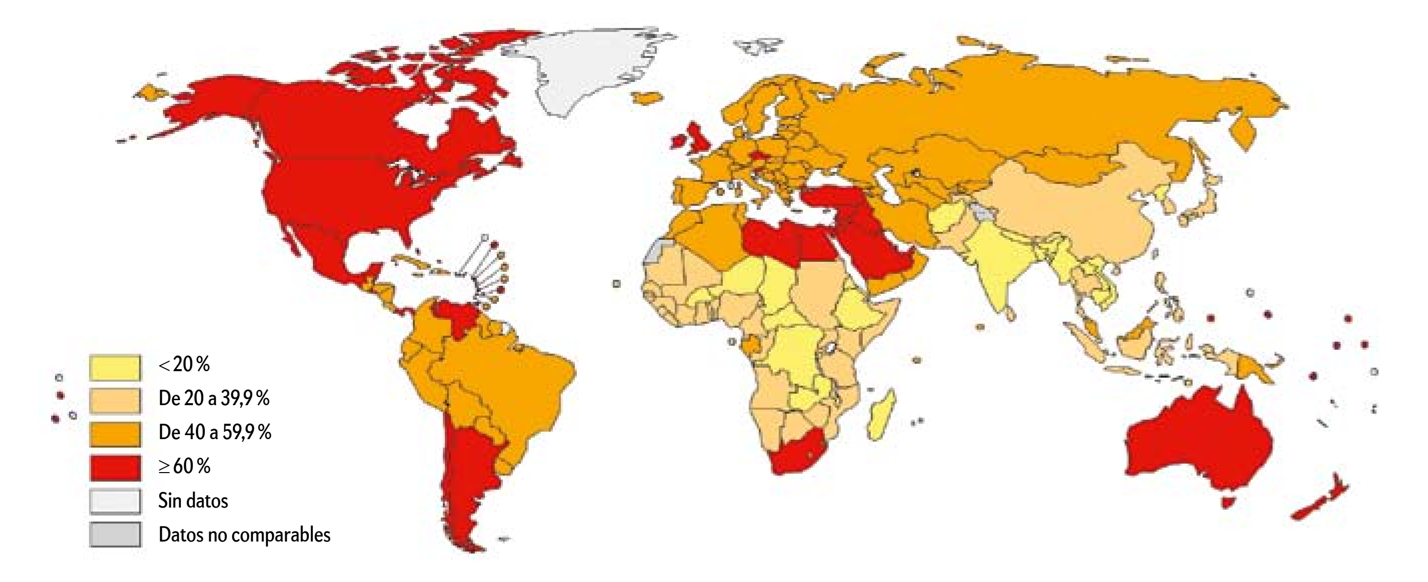
A diferencia de las epidemias víricas, que movilizan enseguida a los poderes públicos, el impacto de la obesidad, que se ha instalado de manera lenta pero continuada en todas las regiones del mundo desde hace 30 años, se ha subestimado. Sin embargo, dista mucho de ser insignificante, tanto por el número de personas afectadas como por los costos que genera. Debe tenerse en cuenta que el sobrepeso y la obesidad constituyen factores de riesgo de numerosas dolencias crónicas, como la diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares, la artrosis, la osteoporosis, la insuficiencia respiratoria y el cáncer. Los costes asociados a la obesidad superan con holgura los relacionados con el tabaquismo y el alcohol juntos. Ello sin contar el impacto social y el sufrimiento individual: nuestras sociedades crean obesos a los que luego juzgan y marginan.

La situación nunca ha sido tan inquietante como ahora. Sin embargo, en la actualidad se dispone de numerosos medios para detener la epidemia, porque las diversas causas de la obesidad se conocen cada vez mejor. En primer lugar, se sabe que existe una predisposición genética. Según una hipótesis propuesta en 1962 por el genetista James Neel, las mutaciones que predisponen a la obesidad habrían sido favorecidas por selección natural a lo largo de la evolución; se trata de una hipótesis respaldada por varios estudios recientes de genética de poblaciones. De generación en generación, se fueron seleccionando ciertos genes que permitían la acumulación rápida de grasa. Representaba una capacidad ventajosa en tiempo de los cazadores-recolectores, cuando el aporte irregular de alimentos dependía de la caza. Pero en nuestra época, en que la comida abunda, se ha convertido en un inconveniente: los humanos comen en previsión de una hambruna que ya no se produce desde hace siglos.

LA INFLUENCIA DEL ENTORNO

Además, varios factores ambientales pueden desequilibrar el metabolismo energético del organismo de manera crónica. Cabe destacar el fácil acceso a una alimentación rica en azú-





PREVALENCIA DEL SOBREPESO (índice de masa corporal superior a 25), entre la población de 20 o más años de edad. Las zonas más afectadas son América del Norte, Arabia Saudita y Oceanía, pero la epidemia se expande por todo el mundo, incluso en países con rentas bajas o medias, especialmente en América del Sur y en África. (Último informe de la OMS a partir de datos de 2008.)

car y grasas, y la disminución de la actividad física. Pero en tiempo reciente se han propuesto otros factores: los efectos secundarios de ciertos medicamentos, especialmente algunos antidepresivos y psicoactivos; los disruptores endocrinos, unas moléculas que bloquean o imitan el funcionamiento de las hormonas; algunas infecciones, en las que se ha demostrado que los microorganismos infecciosos implicados generan obesidad; la edad materna tardía (que afectaría al hijo); horas de sueño insuficientes; el uso de aire acondicionado, que, al mantener el cuerpo fresco cuando hace calor, altera el metabolismo; y el estrés, que también podría causar aumento de peso, aunque solo en ciertas personas.

De modo sorprendente, la composición de la flora bacteriana intestinal podría asimismo influir en la predisposición a la obesidad. Por último, también interviene la epigenética. Nos referimos a los mecanismos moleculares que alteran la expresión de los genes sin cambiar la secuencia del ADN. Estos cambios reflejan la influencia del entorno, particularmente durante la vida intrauterina: la alimentación inadecuada u obesidad de la madre o los contaminantes ambientales podrían desencadenar fenómenos epigenéticos que favorecerían la obesidad.

Pese a este panorama preocupante, hay razones para la esperanza. Todas estas causas constituyen pistas para predecir, prevenir y tratar la enfermedad. Dentro de 15 años, la genética de la obesidad debería permitir determinar quién tiene una predisposición a la enfermedad antes de que esta se declare, así como recomendar estrategias preventivas a la carta, adaptadas al perfil de cada persona. Pero de momento ya pueden irse tomando medidas en la población. Por una parte, en el ámbito de la educación. Teniendo en cuenta que la mayor prevalencia de la obesidad se da entre las poblaciones desfavorecidas, las campañas de información y de enseñanza de los principios de una alimentación equilibrada desde una edad temprana podrían cambiar la tendencia actual. Por otra parte, se podría suprimir el consumo de alimentos ricos en calorías. Mediante la prohibición de refrescos con gas (un vaso contiene el equivalente a seis terrones de azúcar) y la oferta de comidas equilibradas gratuitas en las escuelas, además de abaratar el precio de los alimentos saludables y fomentar la actividad física, el Gobierno de Finlandia casi ha frenado el ascenso de la obesidad en aquel país. ¿Por qué no hacer lo mismo en todas partes?

El principal obstáculo es el peso económico de las industrias agroalimentarias y la presión que ejercen sobre el poder político. Pero los finlandeses parecen haberlo conseguido. Así que es hora de que una verdadera política proactiva se ponga en marcha a escala internacional.

© Pour la Science

ALGUNOS DATOS

Cada año mueren **2,8 millones** de personas a causa de alguna enfermedad relacionada con la obesidad.

El índice de masa corporal medio en el mundo aumenta **0,4 kg/m²** por década desde 1980. En algunas zonas, como en Oceanía, esa cifra supera los 2 kg/m².

En España, el **16 %** de los adultos padecen obesidad y el 38 % tienen sobrepeso. Se calcula que el 60 % de la población europea será obesa en 2050.

Los gastos médicos anuales relacionados con la obesidad ascienden a unos **155.000 millones** de euros en Estados Unidos.

PARA SABER MÁS

Ten putative contributors to the obesity epidemic. E. J. Mc Allister et al. en *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 49, n.º 10, págs. 868-913, 2009.

National, regional, and global trends in body-mass index since 1980. M. M. Finucane et al. en *Lancet*, vol. 377, págs. 557-567, 2011.

Morbid obesity rates continue to rise rapidly in the United States. R. Sturm y A. Hatton en *International Journal of Obesity*, vol. 37, n.º 6, págs. 889-891, 2013, doi:10.1038/ijo.2012.159, 2012.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SALUD PÚBLICA, OMS (*mapa*)

por Cristian Saborido



Cristian Saborido es profesor de filosofía de la ciencia en la UNED.

La falacia naturalista

¿Lo natural es más sano?

Con frecuencia, los errores de razonamiento se esconden bajo la forma de obviedades o de lugares comunes. Cuando reflexionamos con mayor atención sobre algunos de los tópicos o expresiones más socorridas, nos damos cuenta de que muchas veces carecen de una buena fundamentación o de que, cuando menos, su validez científica está lejos de ser demostrada.

Una de esas tramposas obviedades se corresponde con el lema que una conocida marca de cosmética viene utilizando desde hace años: «lo natural es más sano». La creencia generalizada de que los productos naturales son más sanos que los no naturales empapa nuestra forma de ver el mundo, se halla en la base de numerosas terapias médicas y es el eslogan que justifica todo un modo de producción alimentaria que actualmente se conoce como «agricultura ecológica».

Se entiende comúnmente que la agricultura ecológica es la que renuncia al uso de pesticidas y abonos sintéticos, y que evita todo tipo de modificación transgénica a fin de respetar los ecosistemas en los que se cultiva. Se halla en pleno desarrollo. Según datos del Ministerio de Agricultura, España es el líder europeo en la producción ecológica desde el año 2010; asimismo, aunque la mayor parte de las cosechas se dedica a la exportación, la demanda interna ha experimentado un incremento muy notable.

¿A qué responde ese éxito creciente? Aquí es donde nos topamos con la equiparación entre lo natural y lo sano. En noviembre de 2011, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino publicó una encuesta realizada a más de 1500 consumidores, de los cuales casi un tercio lo eran de productos ecológicos. Según los resultados, la mayoría de los consumidores de estos productos pertenecen a las clases media y alta, y declaran un nivel de formación superior a la media. Y ahora viene lo más llamativo: el principal motivo que aducen para consumir productos de agricultura ecológica es su preocupación por la salud. Al considerar este tipo de alimentos «más naturales», los ven también «más sanos».

Es posible que el lector se pregunte qué problema puede haber en pensar que un alimento producido de una forma más natural es más saludable, ¿acaso no es una obviedad? El problema es que no lo es. De hecho, es curioso que esta identificación entre «lo natural» y «lo sano» se halle tan firmemente asentada en nuestra cultura cuando hay pocos conceptos tan escurridizos, multívocos y confusos como «naturaleza» y «salud».

Se han lanzado al «mercado filosófico» muy distintas definiciones sobre lo que significa ser y estar sano o enfermo

Si la observamos con detenimiento, esta identificación entre lo natural y lo saludable parece hallarse muy cerca de lo que en filosofía se denomina «falacia naturalista», la cual se genera por la confusión entre el «ser» y el «deber ser». Este problema ya fue detectado y estudiado por David Hume en el siglo XVIII.

La falacia naturalista, uno de los errores de argumentación más comunes y célebres, fue descrita también por G. E. Moore en su obra *Principia ethica* de 1903. Consiste en identificar «lo bueno» en términos morales con una propiedad natural como podría ser «placentero» o «deseable». (No es válido afirmar que algo es moralmente bueno solo por el hecho de que nos produce placer o nos causa deseo.) Estos son los términos que maneja Moore. Para Hume, el problema consiste en identificar el «ser» con el «deber ser», esto es, decir que algo debe ser de una determinada manera *porque* es así como se manifiesta en el mundo (por ejemplo, del simple *hecho* de que en ciertas partes del mundo se hagan cinco o más comidas al día no se sigue que *deban* hacerse cinco o más comidas; del mismo modo, el hecho de que hay personas que comen al día solo una vez —o ninguna— no implica que ello deba ser así).

Y precisamente eso es lo que ocurre con la afirmación de que lo natural es más sano, que recuerda mucho al tipo de argumentación falaz del que nos advierten Moore y Hume. Incluso en el caso de que los alimentos ecológicos fuesen mejores para nuestra salud —lo que es objeto de discusión [*véase* «Ciencia y alimentación ecológica», por J. M. Mulet, *en este mismo número*]—, el problema de argumentación sería afirmar que son sanos *porque* son naturales.

Por otro lado, no resulta nada obvio qué significa «sano». En las últimas décadas, la filosofía de la medicina se ha erigido como una de las ramas más fructíferas de la filosofía de la ciencia. Además de dedicarse a reflexionar acerca de toda una amalgama de cuestiones referentes a los aspectos conceptuales, metodológicos y éticos de la medicina, los filósofos se están esforzando en lograr una buena definición teórica de las nociones de salud y enfermedad. Aunque parezca extraño, no resulta nada fácil lograr un acuerdo sobre algo tan básico; se han lanzado al «mercado filosófico» muy distintas definiciones sobre lo que significa ser y estar sano o enfermo.

De un modo muy general, puede decirse que hay dos grandes corrientes en ese debate: la naturalista y la normativista. Ambas defienden formas muy divergentes de abordar la noción de salud, y que tienen su reflejo en la consideración que damos a los alimentos ecológicos.

Los naturalistas sostienen que es posible abordar de un modo objetivo y científico las definiciones de salud y enfermedad. Argumentan que el funcionamiento orgánico de los seres humanos responde a un diseño biológico que es, en última instancia, el criterio que nos sirve para determinar cuándo un comportamiento es sano y cuándo no lo es. Probablemente, la teoría naturalista más influyente es la del filósofo de la Universidad de Delaware Christopher Boorse, quien defiende un enfoque bioestadístico: lo sano es lo naturalmente más frecuente, pues la mayoría estadística de los individuos que coinciden en especie, edad y sexo refleja el diseño natural para esa clase de referencia.

Según esta corriente, existe una «norma natural» que comparten todos los organismos de una misma clase. Por tanto, los individuos que actúan de acuerdo con su diseño biológico, que ha sido forjado evolutivamente, se ajustan a esta norma natural y, en consecuencia, pueden ser definidos como «sanos».



THINKSTOCK

En cierto modo, esa postura se enraíza en la visión romántica de que la naturaleza posee una suerte de normatividad intrínseca y, en mi opinión, se halla en la base de la creencia de que los alimentos que son producidos respetando los procesos y métodos naturales (es decir, siguiendo las «normas de la naturaleza») son más sanos. Según este enfoque, los productos ecológicos respetan las leyes de la naturaleza y, por tanto, se ajustan a nuestro diseño natural mejor que los de cultivo convencional.

No obstante, es fácil encontrar ejemplos que contradicen la afirmación anterior. Nuestra especie se halla tan altamente tecnificada y depende tanto de productos sintéticos que es difícil imaginarse cómo nuestro diseño biológico sobreviviría sin ellos. Existen incluso alimentos producidos por ingeniería genética cuyos beneficios para la salud humana han sido reiteradamente comprobados (aunque no exento de polémica, este sería el caso del arroz dorado, el cual ha demostrado ser una fuente de vitamina A para los humanos).

Además, la búsqueda de vías alternativas para la producción alimentaria se guía también por razones que poco o nada tienen que ver con la «naturalidad» de los productos. Pensemos en la «carne cultivada» o «carne in vitro» [*véase* «Carne de laboratorio», por Jeffrey Bartholet; Investigación y Ciencia, agosto de 2011]. El pasado 5 de agosto, un grupo de científicos de la Universidad de Maastrich, encabezado por Mark J. Post, organizó en una conferencia en Londres la primera cata de una hamburguesa producida completamente en el laboratorio. La producción de esta carne es aún demasiado costosa para resultar viable a gran escala, pero numerosos grupos ecologistas y de defensa de los derechos de los animales han manifestado ya su apoyo a las investigaciones de este tipo. Incluso el profesor de Oxford Julian Savulescu, uno de los principales expertos actuales en ética, escribió un elogioso artículo en *The Guardian* manifestando su entusiasmo por la producción de carne de laboratorio. Según Savulescu, la carne artificial frenará la crueldad para con los animales, será más respetuosa con el medio y, lo que es aún más significativo, resultará más saludable. Parece, por tanto, que hay una dimensión de la noción de salud que va más allá de lo natural.

Ello conecta con la otra vía filosófica: la normativista. Argumenta esta que nuestras ideas y prejuicios culturales desempeñan un papel crucial a la hora de distinguir lo sano de lo enfermo. Así, lo sano se corresponde con un estado que deseamos tener y lo enfermo con uno que queremos evitar. No podemos desligar la concepción de «salud» de nuestros valores y creencias personales. Teóricos normativistas como Lennart Nordenfelt, de la Universidad de Linköping, o H. Tristram Engelhardt, de la Universidad Rice, afirman que, más que un estado biológico, la salud responde a un ideal que engloba aspectos físicos, psicológicos y sociales. La misma Organización Mundial de la Salud parece plegarse a esta corriente cuando define la salud como un «estado de bienestar completo en lo físico, lo psicológico y lo social». Y aunque esta definición ha sido ampliamente criticada, y en ocasiones con buenos argumentos, recoge muy bien el carácter multidimensional de la idea de salud.

La creencia, generalizada en nuestra sociedad, de que los alimentos ecológicos son más saludables *porque* son producidos de un modo natural es el reflejo de una concepción de la salud de corte naturalista y un tanto ingenua. No basta con decir que la naturalidad en su producción es garantía de salud en su consumo. La discusión acerca de la conveniencia de los alimentos ecológicos por encima de otras alternativas debe ir más allá de este tópico. Porque lo natural pudiera resultar sano, pero esto no es ninguna obviedad. Habría que demostrarlo.

PARA SABER MÁS

Philosophy of medicine: framing the field. Dirigido por H. Tristram Engelhardt Jr. Kluwer, Dordrecht, 2000.

Natural goodness. P. Foot. Clarendon Press, Oxford, 2001.

Environmental philosophy: from theory to practice. Sahotra Sarkar. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, 2012.

Estudio del perfil del consumidor de alimentos ecológicos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2012. Puede consultarse en **http://goo.gl/ToFYE2**

por Roser Guàrdia

La dispersión de las semillas

Las plantas presentan una enorme variedad de estrategias a la hora de diseminar las simientes, lo que aumenta su capacidad de propagación

Las semillas son los órganos de diseminación de los vegetales. Cada simiente contiene el embrión de la futura planta, sustancias de reserva y una o más cubiertas protectoras. Las semillas se forman después de que se produzca la fecundación en las flores y estas se transformen para dar origen a los frutos. Se denomina diáspora a la unidad funcional de diseminación, sean cuales sean las partes que la integren: una o más semillas, bien acompañadas del fruto (o de una parte de él), o bien unidas a otras estructuras de las flores o inflorescencias.

Existe una gran diversidad morfológica en lo que se refiere a las diásporas, tanto en el tamaño como en la forma y ornamentación de sus cubiertas. Las más pequeñas son las de las orquídeas, con simientes ligeras como partículas de polvo; en el otro extremo hallamos las de algunas palmeras, que pueden pesar hasta 25 kilogramos. Además, una gran variedad de complementos proporcionan ingeniosos mecanismos para desplazar las diásporas a distancias que pueden llegar a ser kilométricas. Especies no relacionadas filogenéticamente pueden presentar la misma estrategia de dispersión, por lo que estas adaptaciones se interpretan como una convergencia evolutiva.

La anemocoria consiste en aprovechar la fuerza del viento para la diseminación. Permite recorrer grandes distancias, pero el resultado es aleatorio y por el camino se pierden numerosas semillas, que caen en ambientes hostiles donde no podrán germinar. Existe una gran variedad de apéndices, como aristas, coronas de pelos y coronas membranáceas, que facilitan la suspensión en el aire y alargan así la distancia recorrida.

La dispersión facilitada por los animales, o zoocoria, es una alternativa más segura que la anterior; como consecuencia, las plantas suelen formar menos diásporas y de mayor tamaño. Los frutos carnosos constituyen la adaptación más conocida en este tipo de diseminación. Los animales los ingieren junto a las semillas, que atraviesan el tubo digestivo sin verse alteradas y son liberadas con los excrementos, lejos de las plantas progenitoras.

Por último, hay un tipo de diseminación que se produce gracias a mecanismos de la propia planta, la autocoria, en la que las semillas son proyectadas como consecuencia de fuerzas internas. El proceso suele guardar relación con las tensiones que genera la desecación de las cubiertas de los frutos y que proporcionan la energía necesaria para lanzar las semillas hacia el exterior.

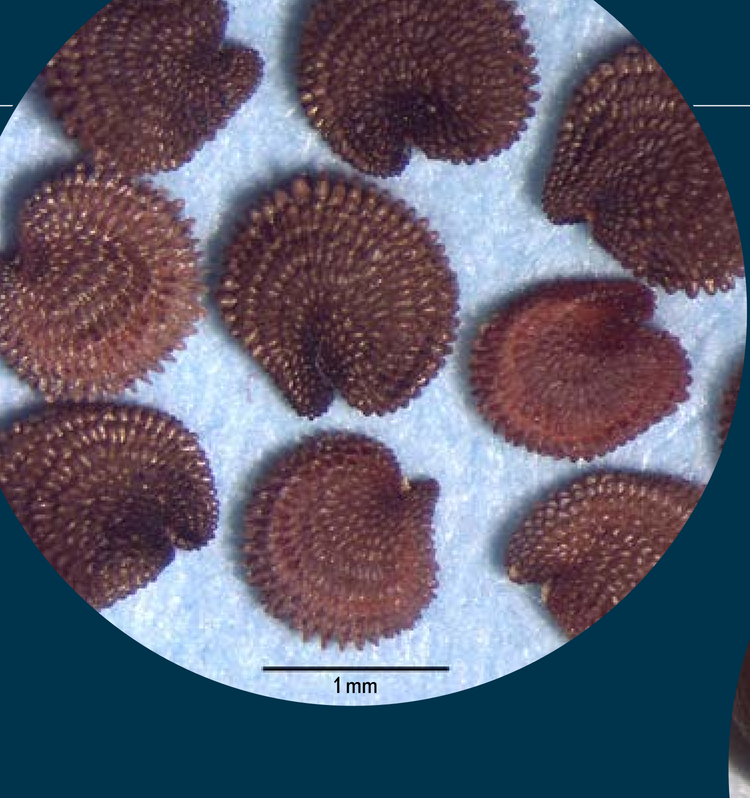
—Roser Guàrdia
Centro de Documentación
de Biodiversidad Vegetal
Universidad de Barcelona



Las diásporas de *Scabiosa columbaria*, denominadas aquenios, consisten en un fruto con una única semilla en su interior. La corona membranácea de la parte superior actúa a modo de paracaídas, para facilitar su planeo y alargar así la distancia recorrida.



Semillas de la adelfilla, *Epilobium montanum*, con una corona de pelos apical de hasta 10 milímetros de longitud que las mantiene flotando en el aire, lo que les permite recorrer distancias de varios metros.



La hierba jabonera, *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*, produce semillas en gran cantidad en el interior de cápsulas (un tipo de fruto seco) situadas en la parte superior de la planta. El viento mece los tallos que las sujetan, que se doblan y actúan como catapultas que disparan las semillas hacia el exterior.

Semillas de la hierba de las verrugas, *Chelidonium majus*, con un apéndice rico en sustancias nutritivas, el eleosoma. Las hormigas las transportan a sus hormigueros para consumir únicamente la parte blanca externa. Las semillas, intactas, quedan diseminadas durante el camino o en el propio hormiguero.



Fruto de las agujas de pastor, *Erodium cicutarium*, iniciando el proceso de diseminación. La tensión que se crea al secarse los frutos provoca que su pared se doble como una hélice.

El pan de cuco, *Oxalis corniculata*, posee semillas dotadas de un tegumento membranoso. Primero los frutos se abren bruscamente y proyectan las semillas hacia fuera. Más tarde la cubierta de estas también se abre y las simientes son lanzadas de nuevo. Gracias a este doble impulso la distancia recorrida puede llegar a los dos metros.

CORTESÍA DE LA AUTORA

por José Miguel Mulet

José Miguel Mulet es profesor de biotecnología en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) e investigador en el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas Eduardo Primo Yúfera, de la UPV y el CSIC. Dirige el máster en biotecnología vegetal de la UPV.



Ciencia y alimentación ecológica

Los productos ecológicos dicen ser mejores para la salud y más respetuosos con el medio. Sin embargo, los datos que lo avalan son prácticamente inexistentes

La publicidad de los alimentos ecológicos asegura que estos son mejores para la salud y el ambiente. ¿Qué dice la ciencia al respecto?

En primer lugar, cabe resaltar que la definición de alimento ecológico no es científica, sino legal. Un alimento se considera ecológico no porque su elaboración haya sido más respetuosa con el medio según criterios de sostenibilidad, emisiones de CO_2 o impacto ambiental, sino porque se ajusta a la normativa de producción ecológica. Un inspector lo certifica y le pone el sello. El principio que rige esta normativa no es científico, sino de corte ideológico: todo lo que añadamos al cultivo debe ser natural [*véase* «La falacia naturalista», por Cristian Saborido, *en este mismo número*]. Así, ciertos plaguicidas sintéticos, como la brevioxima, que inhiben hormonas, aun siendo respetuosos con el medio y específicos, no se autorizan para cultivo ecológico por ser artificiales, mientras que el espinosad (neurotoxina producida por la bacteria *Saccharopolyspora spinosa*), si bien es inespecífico y tóxico para las abejas, sí se admite. (Se aceptan también productos naturales pero muy contaminantes como el cobre, el alumbre o la potasa.) Ello parece desoír lo que, gracias a la labor de los químicos Justus von Liebig y Eduard Büchner, sabemos ya desde el siglo XIX: que las propiedades de un compuesto dependen de su composición, no de su origen.

El reglamento también desprende una evidente tecnofobia, puesto que no admite el uso de organismos transgénicos o de cultivos hidropónicos, independientemente de su beneficio para el medio o el consumidor.

En cuanto a las consecuencias para la salud, si bien es cierto que el tipo de cultivo afecta a la acumulación de moléculas en la planta, asumir que si se aplican métodos ecológicos se van a acumular solo las sustancias beneficiosas es lo que en inglés se denomina *wishful thinking* (confundir deseos con realidad). Para poder afirmar que un alimento es más saludable, en primer lugar debe comprobarse que acumula más de una molécula beneficiosa. Un trabajo publicado en 2010 en *Journal of Agricultural and Food Chemistry* demostró la acumulación de ciertos nutrientes en



berenjenas ecológicas cultivadas en unas condiciones muy específicas. Otro estudio, publicado en 2013 en *PLOS ONE*, detectó más vitamina C en tomates ecológicos. Sin embargo, ¿pueden generalizarse estos resultados? Los metaanálisis más completos realizados hasta la fecha, publicados en *American Journal of Clinical Nutrition* en 2009 y en *Annals of Internal Medicine* en 2012, indican que no. No hay diferencias nutricionales entre los cultivos ecológicos y su equivalente convencional.

Que los alimentos ecológicos no aportan ninguna mejora para la salud no es un dato desconocido por los organismos reguladores. El primer reglamento, del año 1991, prohibía explícitamente anunciar que esta producción era más saludable. La cláusula desapareció —misteriosamente— en la normativa de 2007. Si uno lee la sección de preguntas y respuestas sobre alimentación ecológica que publica la Unión Europea no encontrará alegaciones sobre la salud. ¿Por qué, entonces, lo publicitan desde ciertas administraciones públicas?

Debido, sobre todo, a la falta de trazabilidad, donde la producción ecológica sale peor parada es en el ámbito de la seguridad alimentaria. En términos relativos, se han activado más alarmas relacionadas con la alimentación ecológica que con la convencional. Y algunas de ellas con consecuencias muy graves, como la intoxicación que se produjo en Alemania y Francia en 2011 (la mal llamada «crisis del pepino», causada en realidad por fenogreco ecológico importado de Egipto). En 2012, el Tribunal de Cuentas Europeo ya advirtió sobre las deficiencias en el control de los alimentos ecológicos.

En lo que atañe al supuestamente menor impacto ambiental de la agricultura ecológica, además del efecto contaminante de ciertos compuestos naturales empleados, cabe tener en cuenta la rendibilidad. En 2012 se publicó en *Nature* un estudio que comparaba la productividad de la agricultura ecológica con la convencional. En la mayoría de los cultivos se observaba una caída del rendimiento, que llegaba a entre un 25 y un 50 por ciento en el caso de los cereales (base de la alimentación mundial). Ello explica que los alimentos ecológicos sean tan caros. Si toda la agricultura del mundo fuera ecológica necesitaríamos entre un 25 y un 50 por ciento más de tierra cultivada. Una producción respetuosa con el medio debería, en cambio, optimizar los recursos y aprovechar al máximo el terreno —como hace la convencional.

En resumen, pese a los mensajes que reza la publicidad de los alimentos ecológicos, no se ha demostrado ninguna ventaja nutricional o ambiental que justifique su sobreprecio. Esta producción se apoya solo en la libre elección del consumidor.

THINKSTOCK

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

PROMOCIONES

5 EJEMPLARES AL PRECIO DE 4

Ahorre un 20 %

5 ejemplares de *MENTE Y CEREBRO* o 5 ejemplares de *TEMAS* por el precio de 4 = 26,00 €

SELECCIONES TEMAS

Ahorre más del 30 %

Ponemos a su disposición grupos de 3 títulos de *TEMAS* seleccionados por materia.

3 ejemplares al precio de 2 = 13,00 €

1. ASTRONOMÍA
Planetas, Estrellas y galaxias, Presente y futuro del cosmos
2. BIOLOGÍA
Nueva genética, Virus y bacterias, Los recursos de las plantas
3. COMPUTACION
Máquinas de cómputo, Semiconductores y superconductores, La información
4. FÍSICA
Fronteras de la física, Universo cuántico, Fenómenos cuánticos
5. CIENCIAS DE LA TIERRA
Volcanes, La superficie terrestre, Riesgos naturales
6. GRANDES CIENTÍFICOS
Einstein, Newton, Darwin
7. MEDICINA
El corazón, Epidemias, Defensas del organismo
8. CIENCIAS AMBIENTALES
Cambio climático, Biodiversidad, El clima
9. NEUROCIENCIAS
Inteligencia viva, Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente, El cerebro, hoy
10. LUZ Y TÉCNICA
La ciencia de la luz, A través del microscopio, Física y aplicaciones del láser

TAPAS DE ENCUADERNACIÓN DE *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*

ANUAL (2 tomos) = 10,00 €
más gastos de envío = 5,00 €



Si las tapas solicitadas, de años anteriores, se encontrasen agotadas remitiríamos, en su lugar, otras sin la impresión del año.

MENTE y CEREBRO

Precio por ejemplar: 6,50€

MyC 1: Conciencia y libre albedrío
MyC 2: Inteligencia y creatividad
MyC 3: Placer y amor
MyC 4: Esquizofrenia
MyC 5: Pensamiento y lenguaje
MyC 6: Origen del dolor
MyC 7: Varón o mujer: cuestión de simetría
MyC 8: Paradoja del samaritano
MyC 9: Niños hiperactivos
MyC 10: El efecto placebo
MyC 11: Creatividad
MyC 12: Neurología de la religión
MyC 13: Emociones musicales
MyC 14: Memoria autobiográfica
MyC 15: Aprendizaje con medios virtuales
MyC 16: Inteligencia emocional
MyC 17: Cuidados paliativos
MyC 18: Freud
MyC 19: Lenguaje corporal
MyC 20: Aprender a hablar
MyC 21: Pubertad
MyC 22: Las raíces de la violencia
MyC 23: El descubrimiento del otro
MyC 24: Psicología e inmigración
MyC 25: Pensamiento mágico
MyC 26: El cerebro adolescente
MyC 27: Psicograma del terror
MyC 28: Sibaritismo inteligente
MyC 29: Cerebro senescente
MyC 30: Toma de decisiones
MyC 31: Psicología de la gestación
MyC 32: Neuroética
MyC 33: Inapetencia sexual
MyC 35: La verdad sobre la mentira
MyC 36: Psicología de la risa
MyC 37: Alucinaciones
MyC 38: Neuroeconomía
MyC 39: Psicología del éxito
MyC 40: El poder de la cultura
MyC 41: Dormir para aprender
MyC 42: Marcapasos cerebrales
MyC 43: Deconstrucción de la memoria
MyC 44: Luces y sombras de la neurodidáctica
MyC 45: Biología de la religión
MyC 46: ¡A jugar!
MyC 47: Neurobiología de la lectura
MyC 48: Redes sociales
MyC 49: Presiones extremas
MyC 50: Trabajo y felicidad
MyC 51: La percepción del tiempo
MyC 52: Claves de la motivación
MyC 53: Neuropsicología urbana
MyC 54: Naturaleza y psique
MyC 55: Neuropsicología del yo
MyC 56: Psiquiatría personalizada
MyC 57: Psicobiología de la obesidad
MyC 58: El poder del bebé
MyC 59: Las huellas del estrés
MyC 60: Evolución del pensamiento
MyC 61: TDAH
MyC 62: El legado de Freud

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN

Edición en rústica

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
012-3	El sistema solar	12 €
016-6	Tamaño y vida	14 €
025-5	La célula viva	32 €
038-7	Matemática y formas óptimas	21 €

Edición en tela

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
004-2	La diversidad humana	24 €
013-1	El sistema solar	24 €
015-8	Partículas subatómicas	24 €
017-4	Tamaño y vida	24 €
027-1	La célula viva (2 tomos)	48 €
031-X	Construcción del universo	24 €
039-5	Matemática y formas óptimas	24 €
046-8	Planeta azul, planeta verde	24 €
054-9	El legado de Einstein	24 €

TEMAS de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€

T-4: Máquinas de cómputo
T-6: La ciencia de la luz
T-7: La vida de las estrellas
T-8: Volcanes
T-9: Núcleos atómicos y radiactividad
T-12: La atmósfera
T-13: Presente y futuro de los transportes
T-14: Los recursos de las plantas
T-15: Sistemas solares
T-16: Calor y movimiento
T-17: Inteligencia viva
T-18: Epidemias
T-20: La superficie terrestre
T-21: Acústica musical
T-22: Trastornos mentales
T-23: Ideas del infinito
T-24: Agua
T-25: Las defensas del organismo
T-26: El clima
T-27: El color
T-29: A través del microscopio
T-30: Dinosaurios
T-31: Fenómenos cuánticos
T-32: La conducta de los primates
T-33: Presente y futuro del cosmos
T-34: Semiconductores y superconductores
T-35: Biodiversidad
T-36: La información
T-37: Civilizaciones antiguas
T-38: Nueva genética
T-39: Los cinco sentidos
T-40: Einstein
T-41: Ciencia medieval
T-42: El corazón
T-43: Fronteras de la física
T-44: Evolución humana
T-45: Cambio climático
T-46: Memoria y aprendizaje
T-47: Estrellas y galaxias
T-48: Virus y bacterias
T-49: Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente
T-50: Newton
T-53: Planetas
T-54: Darwin
T-55: Riesgos naturales
T-56: Instinto sexual
T-57: El cerebro, hoy
T-58: Galileo y su legado
T-59: ¿Qué es un gen?
T-60: Física y aplicaciones del láser
T-61: Conservación de la biodiversidad
T-62: Alzheimer
T-63: Universo cuántico
T-64: Lavoisier, la revolución química
T-65: Biología marina
T-66: La dieta humana: biología y cultura
T-67: Energía y sostenibilidad
T-68: La ciencia después de Alan Turing
T-69: La ciencia de la longevidad
T-70: Orígenes de la mente humana
T-71: Retos de la agricultura
T-72: Origen y evolución del universo
T-73: El sida

MENTE y CEREBRO Cuadernos

Precio por ejemplar: 6,90€

Cuadernos 1: El cerebro
Cuadernos 2: Emociones
Cuadernos 3: Ilusiones
Cuadernos 4: Las neuronas
Cuadernos 5: Personalidad, desarrollo y conducta social
Cuadernos 6: El mundo de los sentidos



INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€





GASTOS DE ENVÍO

(Añadir al importe del pedido)

	España	Otros países
1er ejemplar	2,00 €	4,00 €
Por cada ejemplar adicional	1,00 €	2,00 €

Para efectuar su pedido:
Teléfono: (34) 934 143 344
A través de nuestra Web:
www.investigacionyciencia.es

Las ofertas son válidas hasta agotar existencias.

Millones de años de comida procesada

Se nos dice que la comida procesada es «el lado oscuro de la fuerza», causante de la epidemia de obesidad y de la desaparición de las granjas familiares. Sin embargo, los humanos hemos estado «procesando» alimentos desde que aprendimos a cocinar, conservar, fermentar, congelar, desecar u obtener extractos. Los alimentos preparados han impulsado la evolución de la especie, la expansión de los imperios y la exploración del espacio. A continuación presentamos un resumen de los más destacados

Evelyn Kim

Agradecemos a Claudi Mans, catedrático emérito de ingeniería química de la Universidad de Barcelona y experto en ciencias de la alimentación, las aportaciones sobre el jamón y la cecina, los embutidos, los cubitos de caldo y la Nutella.

Hace 1,8 millones de años

CARNE ASADA

Pasados por fuego, los alimentos resultan más fáciles de digerir y más nutritivos que la comida cruda. Algunos antropólogos argumentan que fue la cocción lo que permitió a nuestros ancestros desarrollar el voluminoso cerebro que caracteriza a *Homo sapiens* [*véase* «El primer asado», *en este mismo número*].

Hace 30.000 años

PAN

La agricultura empezó hace unos 12.000 años, pero los primeros europeos ya habían comenzado a hornear pan miles de años antes. En 2010, en lo que hoy es Italia, Rusia y la República Checa, se hallaron sorprendentes indicios de granos de almidón en rudimentarios almireces y manos de mortero. El almidón provenía de raíces de juncos y helechos, que nuestros antepasados machacaban hasta convertirlos en harina, la cual mezclaban con agua y cocían al horno.

El pan era transportable, rico en nutrientes y resistente al deterioro. Pero también supuso un paso atrás desde el punto de vista nutricional. Los estudios comparativos muestran que los cazadores-recolectores del Neolítico disfrutaban de dietas más variadas y nutritivas que los agricultores de la misma época. Y, desde una perspectiva energética, los cazadores-recolectores eran mucho más eficientes: para obtener el mismo número de calorías, un agricultor debía dedicar 10 horas al cultivo, frente a las 6 horas de caza que debía invertir un cazador-recolector.

Entonces, ¿por qué entretenerse con el pan? Aunque los antropólogos debaten sobre las razones que hicieron que la agricultura reemplazase a la caza y la recolección, una cosa es cierta: el pan y la agricultura fueron codependientes. A medida que las sociedades comenzaron a depender del pan como alimento básico, se vieron forzadas a dedicar también más esfuerzos a la agricultura, y viceversa.

PETER Y MARIA HOEY

PARA SABER MÁS

The Cambridge world history of food. Dirigido por Kenneth F. Kiple y Kriemhild Coneè Omelas. Cambridge University Press, 2000.

The Oxford encyclopedia of food and drink in America. Segunda edición. Dirigida por Andrew F. Smith. Oxford University Press, 2012.

10.000 a.C.
JAMÓN Y CECINA
El secado, salado y ahumado de la carne para conservarla al sol o en cuevas frías aireadas es una práctica común en muchas culturas desde el Neolítico. Se han encontrado jamones fosilizados de 2000 años de antigüedad en Tarraco, la actual Tarragona.

La cecina de vaca y de otros animales parece ser oriunda de la península ibérica, desde donde se habría extendido a otros países.

7000 a.C.
CERVEZA
El origen de la cerveza resulta difícil de datar. Los indicios materiales más antiguos provienen de fragmentos de cerámica iraníes de hace 5500 años. Pero algunos arqueólogos, como Patrick McGovern, de la Universidad de Pensilvania, sugieren que pudo haberse fabricado ya en el año 7000 a.C. como subproducto de la elaboración de pan. Los antiguos sumerios puede que dedicasen hasta un 40 por ciento de todo el grano a la producción de cerveza.

Los cerveceros actuales han intentado recrear variedades antiguas. McGovern ha colaborado con Dogfish Head Craft Brewery para fermentar antiguas bebidas egipcias y chinas. La cervecera Great Lakes Brewing y varios investigadores de la Universidad de Chicago están elaborando cerveza basándose en el texto de una oda de 3800 años de antigüedad dedicada a Ninkasi, la diosa sumeria de la cerveza.

6700 a.C.
TORTILLAS
No existen documentos escritos anteriores a la llegada de los españoles a América, pero los primeros indicios arqueológicos del cultivo de maíz se remontan a hace unos 8700 años. Se cree que los primeros americanos remojaban los granos en una solución caliza para hacer la masa, en un proceso que liberaba nutrientes.

5400 a.C.
VINO
Las primeras pruebas de la elaboración de vino se han encontrado en los montes Zagros, en Irán. Después, los marineros fenicios habrían difundido la técnica desde el Líbano hasta Egipto y el resto del Mediterráneo.

5000 a.C.
QUESO
Tome leche, póngala en el estómago de un rumiante y después bata. Los expertos sugieren que dicho método no sería demasiado diferente del que dio lugar a la invención del queso. Aunque probablemente date de antes, la primera prueba de la fabricación de este lácteo proviene de yacimientos arqueológicos de 7000 años de antigüedad en Polonia, donde se hallaron restos de grasa de leche en coladores de cerámica rudimentarios.

El queso podía conservarse durante más tiempo que la leche fresca. Además, los humanos del Neolítico no podían digerir la lactosa: el gen necesario para ello comenzó a extenderse hace solo unos pocos miles de años. Las bacterias usadas en el proceso fermentan la lactosa, la cual se convierte en ácido láctico y hace que el producto obtenido resulte más fácil de digerir.

No sabemos con certeza cómo eran los primeros quesos, pero la retrospectiva geohistórica nos ofrece algunas pistas. Las poblaciones de Oriente Medio y el sur de Asia probablemente empleaban grandes cantidades de sal para conservarlos. Esta práctica se mantiene hasta hoy en el queso feta y en otros productos de Oriente Medio, Grecia y el sudoeste asiático. Los climas más fríos no requieren tanta sal para la conservación, lo que habría permitido la proliferación de los microorganismos locales responsables del sabor característico de otros quesos famosos, como el roquefort, el brie o los quesos suizos.

Evelyn Kim es escritora y educadora especializada en la intersección entre la historia de la ciencia, la alimentación y el medioambiente.





4500 a.C.
ACEITE DE OLIVA
Una aceituna cruda resulta incomestible por su gusto amargo. Sin embargo, los campesinos del Mediterráneo oriental llevan miles de años fermentando aceitunas en lejías y luego prensándolas para obtener aceite.

3000 a.C.
ACEITE DE PALMA
En antiguas tumbas egipcias se ha encontrado aceite elaborado a partir de bayas de palma. Se trata de un producto básico, barato y no perecedero muy empleado hoy en día en la industria de alimentos procesados.

2400 a.C.
ENCURTIDOS
Los antiguos mesopotámicos fueron los primeros en envasar vegetales en vinagre para conservarlos y poder consumirlos fuera de temporada.

2000 a.C.
FIDEOS
Los indicios más antiguos de este popular plato fueron hallados en un cuenco de barro en el noroeste de China: se trataba de fideos de mijo. La variedad de trigo, comúnmente asociada a la pasta, surgió hace 2000 años en China, desde donde se habría extendido hacia Occidente.



1900 a.C.
CHOCOLATE
Las civilizaciones preolmecas de América Central molían las habas de cacao, mezclaban el polvo resultante con agua y agitaban la mezcla, gracias a lo cual obtenían una bebida espumosa. Más de 3000 años después, Hernán Cortés llevó las habas a España, donde por primera vez se les añadió azúcar.

1500 a.C.
BACÓN
Los cocineros chinos fueron los primeros en salar el vientre de cerdo, no solo para conservarlo, sino también como una manera de realzar el sabor de la carne.

1000 a.C.
JIANG
El *jiang* fue el precursor de saborizantes como el miso y la salsa de soja, hoy usados en todo el este de Asia. De acuerdo con el antiguo texto chino *Los ritos de Zhou*, el *jiang* se fabricaba mezclando carne o pescado con sal y *liang qu* (un iniciador de la fermentación) y dejando madurar la mezcla durante cien días. Su invención fue probablemente accidental. Sin embargo, su expansión por el este de Asia no lo fue en absoluto: la difusión del budismo, entre el primer y el séptimo siglo de nuestra era, habría llevado el *jiang* hasta Corea y Japón.

800 a.C.
EMBUTIDOS
La Odisea de Homero hace referencia a una tripa embutida con sangre y grasa que luego se freía. Esta técnica de conservación de trozos de carne y vísceras presenta una enorme variedad de composiciones, tipos de envoltorio (intestinos, estómago, trozos de piel cocida) y tratamientos posteriores (secado, ahumado, hervido, en grasas).

El pimentón, oriundo de América, permitió a España desarrollar el chorizo rojo hacia finales del siglo XVII.

500 a.C.
AZÚCAR
Según textos sánscritos, los cocineros de la India ya obtenían cristales gigantes a partir de la caña de azúcar mediante un proceso que consistía en hervir y enfriar después el jugo extraído de la planta. Casi un milenio después, los indios inventaron el azúcar granulado: fácil de transportar, con ello daría comienzo el comercio mundial de azúcar.

400 d.C.
MOSTAZA
Una de las primeras recetas de mostaza, incluida en el libro de cocina romano *De re coquinaria*, recomendaba mezclar semillas de mostaza molidas, pimienta, alcaravea, apio de monte, semillas de cilantro tostadas, eneldo, apio, tomillo, orégano, cebolla, miel, vinagre, salsa de pescado y aceite.



965 d.C.
TOFU
Los orígenes del tofu son misteriosos, pero el primer registro sobre su existencia se encuentra en las narraciones del escritor chino Tao Ku. Una de ellas cuenta la historia de un vicealcalde tan pobre que un día se vio forzado a comprar tofu (un gel coagulado a partir de habas de soja cocidas) en vez de cordero.

Siglo X
BACALAO SALADO
El bacalao desecado fue un alimento vikingo desde el siglo IX. Poco después, sin embargo, se convertiría en un éxito mundial gracias a la sal, la cual permitía secarlo con facilidad y conservarlo incluso en lugares húmedos o calurosos, como los barcos pesqueros. Hacia el siglo X, unos marineros vascos se encontraron cerca de las islas Feroe con pescadores vikingos. Al ver sus enormes provisiones de bacalao, los vascos encontraron en ellas su particular gallina de los huevos de oro. Un edicto católico de la época había prohibido comer carne los viernes, lo que contribuyó a aumentar la popularidad del bacalao salado. Poco después, portugueses, franceses y británicos comenzarían también a pescarlo. Durante varios siglos, el bacalao salado fue el sustento de las largas expediciones hacia el Nuevo Mundo; el resto, como suele decirse, es historia. Por desgracia, el pescado que llevó a los navegantes hasta allí es hoy también casi historia.

700 d.C
KIMCHI
El primer *kimchi* era bastante insulso: col fermentada con sal. Después de que los japoneses invadieran Corea en el siglo XVI y llevasen con ellos los chiles rojos que los misioneros portugueses habían traído a Japón desde el Nuevo Mundo, los coreanos comenzaron a incorporar ingredientes picantes.

700 d.C.
SUSHI
El sushi se concibió en un principio como un método para conservar el pescado en el sudeste de Asia: el pescado salado se cubría con arroz hervido y se dejaba fermentar durante meses. Después, el arroz podrido se raspaba y se desechaba, tras lo cual se consumía el pescado agrio (debido al residuo no aprovechado, el sushi ha sido siempre un plato de gente adinerada). Se trata de un procedimiento muy similar al actual envejecimiento en seco del vacuno: una parte del producto se pierde, pero la que queda resulta más tierna y sabrosa. Los japoneses del siglo XIX eliminaron la larga fermentación e incorporaron vinagre a la mezcla de arroz.



1767
AGUA CARBONATADA
Joseph Priestly, filósofo natural británico y descubridor del oxígeno, inventó el agua con gas después de poner un recipiente lleno de agua sobre un fermentador de cerveza en Leeds.

Finales del siglo XVIII
CUBITOS DE CALDO
Los populares cubitos de caldo constan de un extracto de caldo de carne deshidratado. A finales del siglo XVIII, el francés Nicolas Appert desarrolló un primer extracto de carne en pastillas para las tropas napoleónicas.

En 1865, el químico alemán Justus von Liebig comercializó un extracto de carne de buey para el mercado local. A partir de 1900, las empresas Oxo y Maggi se encargarían de difundirlo en otros países.

Mediados del siglo XV
CAFÉ
Aunque hoy constituya una obsesión occidental, las raíces del café se remontan al mundo árabe. Las pistas más creíbles sobre su origen se encuentran en los monasterios sufíes de Yemen de mediados del siglo XV: sus monjes escribieron sobre el comercio del café entre Yemen y Etiopía, de donde eran originarios los granos (debido a la falta de documentos escritos, nadie sabe muy bien qué ocurría en Etiopía en aquella época). Con el tiempo, Yemen comenzó a cultivar su propio café a partir de las variedades etíopes, desde donde se propagó a Egipto, Damasco y La Meca. Hacia el siglo XVI, las casas de café, o *kaveh kanes*, se habían extendido por toda la península arábiga.

En un principio, el café se recetaba para tratar dolores de estómago, letargos, narcolepsia y otras dolencias. Pero sus virtudes no eran solo curativas; algunos escritores árabes ya dieron cuenta de su capacidad para la sociabilización. Quizás en exceso: la cultura de las casas de café, con sus juegos y cotilleos, empujaron al gobernador de La Meca a prohibir la bebida en 1511. Después de 13 años de problemas con la cafeína, el sultán turco Selim I revocó la prohibición.

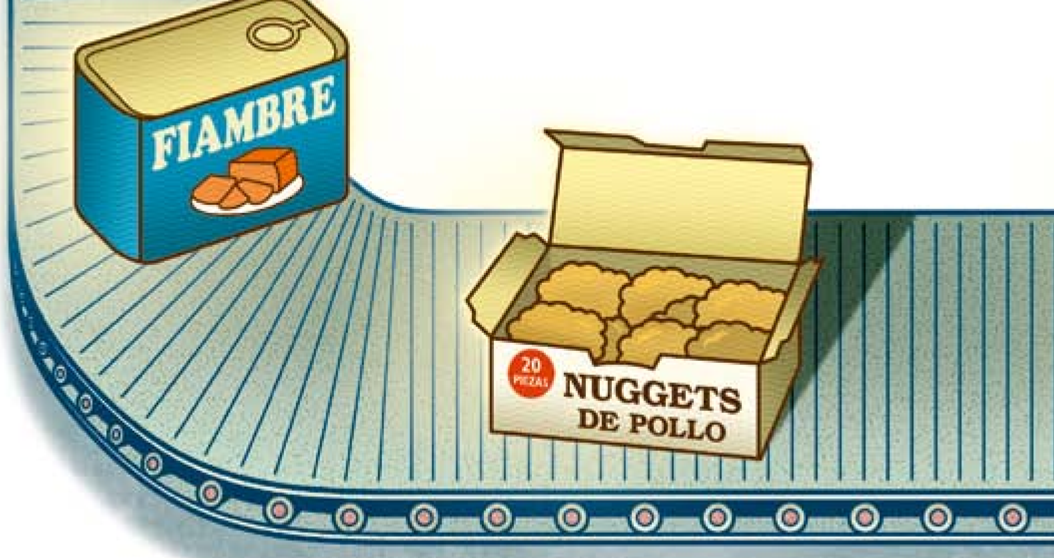
Para los viajeros europeos y los exploradores del siglo XVI, el café era otra curiosidad oriental. En 1582, en una de las primeras alusiones a la bebida hechas por un europeo, el médico y botánico alemán Leonhard Rauwolf lo describió así: «Una buena bebida, que [turcos y árabes] aprecian mucho. [...] Es casi tan negra como la tinta y útil contra los dolores de estómago». En un evento precursor de la mercadotecnia actual, a finales del siglo XVI los comerciantes venecianos comenzaron a importar café desde Oriente Medio como bebida de lujo. A mediados del siglo XVII, franceses, británicos y holandeses ya habían caído seducidos por la nueva bebida.

1894
COPOS DE MAÍZ
Para satisfacer las dietas vegetarianas preconizadas por los adventistas del Séptimo Día, John Harvey Kellogg y su hermano menor, Will Keith Kellog, concibieron en 1894 los copos de maíz como parte del régimen dietético de su sanatorio de Battle Creek, en Michigan.

1908
GLUTAMATO MONOSÓDICO
En 1866, el químico agrícola alemán Karl Ritthausen descubrió el ácido glutámico, del que el glutamato monosódico no es más que un derivado. Como muchos de los químicos alemanes de la época, Ritthausen investigaba en una disciplina emergente iniciada años atrás por Justus von Liebig, uno de los padres de la química orgánica y el inventor de los abonos nitrogenados. Dicho campo de investigación se proponía desentrañar las bases químicas de los productos naturales.

Unos 40 años después, el químico orgánico japonés Kikunae Ikeda, formado en Alemania, intentó igualar el éxito de sus colegas teutones; en especial el de Von Liebig, quien había multiplicado su fortuna gracias a la invención del caldo de ternera deshidratado. Ikeda deseaba dar con un procedimiento equivalente para la cocina japonesa: buscaba reproducir por medios químicos el sabor del *kombu dashi*, un caldo de algas común. En 1908, tras evaporar una gran cantidad de *dashi*, encontró un residuo, lo probó y constató que recogía la esencia del sabor que buscaba. Al publicar sus resultados en el *Journal of the Chemical Society of Tokyo* en 1909, Ikeda explicó que el alga contenía glutamatos y que estos eran los responsables del característico sabor *umami*, muy familiar en la cocina asiática, pero hasta entonces innominado.

Años cincuenta
NUGGETS DE POLLO
Robert C. Baker, experto en alimentación de la Universidad Cornell, concibió la idea de picar pollo y rebozar sus piezas en pan rallado con el objetivo de incrementar la demanda de dicha ave en el norte del estado de Nueva York.



1957
JARABE DE MAÍZ RICO EN FRUCTOSA

La búsqueda de sustitutos del azúcar empezó ya en 1806, cuando, debido al bloqueo británico de las plantaciones de azúcar francesas en el Caribe, Napoleón ofreció una suculenta recompensa a quien hallase un método químico para producirlo. Un siglo y medio después, un grupo de expertos estadounidenses dio con una forma de utilizar enzimas para convertir en fructosa la glucosa de la harina de maíz. En 1967, el científico japonés Yoshiyuki Takasaki ideó un proceso industrial rentable. A la industria alimentaria le sedujo su bajo coste y la facilidad con que el jarabe de maíz se disolvía en el agua carbonatada.



1959
TANG

Los científicos de General Foods trabajaron durante años para crear un sustituto en polvo del zumo de naranja. Sin embargo, sus elaboraciones siempre presentaban un desagradable regusto amargo. El éxito llegó cuando abandonaron la idea de incluir en el preparado todas las vitaminas y minerales del zumo de naranja natural.

1964
NUTELLA

Para no pagar los impuestos del chocolate y el cacao, en el Piamonte se desarrolló la *gianduja*, una pasta de avellanas y chocolate que Pietro Ferrero comenzó a vender en versión sólida y para untar. En 1964 su hijo Michele la modificó y la denominó Nutella. En España, Starlux copió la composición y la comercializa desde 1967 con el nombre de Nocilla.

2013
CARNE DE LABORATORIO

La primera cata pública de carne fabricada in vitro tuvo lugar el 5 de agosto de este año. Se trató de una hamburguesa desarrollada a partir de células madre bovinas.

ANTROPOLOGÍA

El primer asado

Hace casi dos millones de años, nuestros ancestros comenzaron a cocinar alimentos al calor de la lumbre. Según el antropólogo Richard Wrangham, ello nos hizo humanos

Kate Wong

Los humanos podemos considerarnos primates peculiares: poseemos un cerebro de gran tamaño, pero nuestros intestinos y dentadura son relativamente pequeños. El antropólogo de Harvard Richard Wrangham sostiene desde hace tiempo que estos y otros rasgos de nuestra especie se originaron cuando nuestros antepasados comenzaron a cocinar los alimentos. La cocción los ablanda y facilita la digestión, lo que permite asimilar más nutrientes y energía. A diferencia del resto de los animales, el ser humano no puede sobrevivir en estado salvaje alimentándose en exclusiva de carne cruda: «Necesitamos cocinar nuestra comida».

Tras analizar la anatomía de nuestros antepasados, Wrangham cree que Homo erectus *aprendió a cocinar con fuego hace 1,8 millones de años. Sus detractores esgrimen que no hay pruebas de que la cocción mejore la digestibilidad, y que los vestigios más antiguos de uso del fuego no son en absoluto tan remotos como él sostiene. Wrangham replica que nuevos hallazgos respaldan sus ideas.*



GUIDO VITTI



LOS ALIMENTOS COCINADOS aportan más energía y requieren masticar menos. Estos beneficios podrían haber impulsado la evolución de rasgos muy humanos, como nuestro voluminoso cerebro.

¿Cómo concibió su hipótesis?
A partir de dos ideas. En primer lugar, estaba intentando averiguar qué habría podido impulsar la evolución de la anatomía humana. Nuestra especie emplea el fuego por doquier, por lo que comencé a preguntarme cuánto habría que remontarse en el tiempo para hallar humanos que no lo utilizasen. Y esto me llevó a plantearme que tal vez siempre lo hubiésemos usado, ya que de otro modo no habríamos sobrevivido. Nuestro género [*Homo*] está condenado a dormir en el suelo. Y, en África, no me gustaría pasar la noche al raso sin una fogata que mantuviese a raya a los animales salvajes.

En segundo lugar, he estudiado los chimpancés y sus hábitos alimentarios durante años. He probado toda la comida de chimpancé que ha caído en mis manos y sé de buena tinta lo desagradable que puede resultar: es a menudo muy fibrosa, bastante seca, con poco azúcar y, con frecuencia, fétida. En una palabra: repugnante. Así que tenemos dos especies muy emparentadas pero con hábitos alimentarios opuestos, por lo que parecía obvio concluir que la cocción confiere algo especial a los alimentos. Sin embargo, me quedé perplejo al descubrir que no existía ninguna prueba concluyente de que la cocción contribuyese a aumentar la energía que obtenemos de los alimentos.

He dedicado los últimos 14 años a esta última cuestión porque, antes de afirmar que los humanos nos hemos adaptado a los alimentos cocinados, necesitábamos indicios firmes sobre el efecto de la cocción en los alimentos. Los experimentos de Rachel N. Carmody, de Harvard, nos brindan ahora tales pruebas: un alimento cocinado nos permite extraer de él más energía.

Otros investigadores sostienen que fue la ingesta de carne lo que hizo que la dentadura y el intestino menguaran. ¿Por qué cree que la cocción explica mejor esos cambios?
Existen pocas dudas de que los seres humanos comenzaron a comer carne de grandes animales hace 2,5 millones de años; desde entonces, han dejado tras de sí un rastro continuo de marcas de corte en los huesos. La hipótesis de la cocción no niega la importancia de comer carne. Sin embargo, existe una gran traba para atribuir a este último fenómeno los cambios en la anatomía digestiva.

La presión selectiva sobre la anatomía del aparato digestivo aumenta cuando escasea la comida. En tales condiciones, los animales apenas acumulan grasa. Y la carne magra es un alimento pésimo, porque la capacidad para eliminar el amoníaco se satura cuando la dieta contiene más de un 30 por ciento de proteínas. En estudios con tribus de cazadores y recolectores, se ha comprobado que durante las épocas de escasez siempre se produce un aumento considerable en el consumo de plantas, sobre todo tubérculos. Pero comerlos crudos exige un aparato digestivo capaz de asimilar vegetales duros, fibrosos y pobres en carbohidratos; esto es, grandes dientes y un intestino voluminoso.

Así que usted cree que, al cocinarlos, nuestros antepasados comenzaron a desarrollar una dentadura y un intestino menores y, de paso, evitaron el exceso de carne magra. Veamos ahora lo que sucedió cuando el alimento abundaba y los animales eran un buen bocado. Usted afirma que la cocción pudo haber ayudado a los primeros humanos a comer más carne porque les habría permitido dedicar más tiempo a la caza. ¿Puede explicarlo?
Un primate de la talla de uno de nuestros antepasados debería pasar la mitad del día masticando, como hacen los chimpancés. El humano moderno invierte menos de una hora al día, ya sea un estadounidense o un miembro de las sociedades primitivas que habitan en cualquier otro rincón del globo. Por tanto, comer alimentos blandos nos ha permitido disponer de cuatro o cinco horas más al día. Los integrantes de las sociedades de cazadores-recolectores dedican ese tiempo a la caza.

Esa observación suscita la siguiente pregunta: ¿cuánto tuvieron que cazar nuestros remotos antepasados hasta reducir el tiempo dedicado a masticar? A los chimpancés les gusta la carne, pero el tiempo que destinan a la caza apenas llega a 20 minutos, tras lo cual vuelven a la fruta. Cazar es arriesgado: si fracasas, has de volver a comer lo de siempre; y si le dedicas demasiado tiempo pero no tienes éxito, no dispondrás del tiempo necesario para engullir y digerir el rancho habitual. Creo que la cocción de los alimentos permitió reducir el tiempo destinado a la comida y dedicarlo a una actividad que, pese a todas sus ventajas potenciales, podía implicar acabar con las manos vacías.

Usted también ha sugerido que la cocción de los alimentos promovió el crecimiento del cerebro. ¿Cómo?
Los fósiles revelan un aumento constante de la capacidad craneana que comenzó hace poco menos de dos millones de años. Existen numerosas teorías acerca de por qué la selección favoreció el aumento de tamaño del cerebro, pero la pregunta sobre cómo se lo pudieron permitir nuestros antepasados ha sido un enigma, ya que el cerebro consume una cantidad desmesurada de energía y no descansa nunca.

Al respecto, he ampliado la idea propuesta por Leslie Aiello, ahora en la Fundación Wenner-Gren de Nueva York, y Peter Wheeler, de la Universidad John Moores de Liverpool, de que, una vez que ya no pudimos prescindir de la cocción, la mejora de la calidad de la comida contribuyó a reducir el tamaño del intestino. Ese nuevo intestino, más pequeño, requería menos energía, lo que permitió destinar más calorías al cerebro.

En 2012, Karina Fonseca-Azevedo y Suzana Herculano-Houzel, de la Universidad Federal de Río de Janeiro, aportaron algo más. Sus cálculos demostraron que, con una dieta de alimentos crudos, el número de calorías necesarias para nutrir un cerebro como el nuestro exigiría comer durante demasiadas horas al día. En su opinión, la cocción aportó la energía extra necesaria para sustentar más neuronas y facilitó el crecimiento del cerebro.

La cocción no es la única forma de facilitar la digestión. ¿En qué se diferencia de otros métodos?
Reducir el tamaño de las partículas alimenticias y la integridad estructural de los alimentos —por ejemplo, triturándolos— facilita la digestión. Carmody llevó a cabo un estudio con carne y tubérculos, los alimentos representativos de la dieta de los cazadores-recolectores, y se preguntó cómo los digerirían unos ratones en caso de encontrarse crudos o cocinados, y enteros o triturados. Controló con sumo detalle la cantidad de alimento suministrada a los animales y la energía que estos consumían al ir de un lado para otro, y evaluó la ganancia neta de energía a través de las variaciones de la masa corporal. Observó que el efecto de la trituración resultaba relativamente pequeño, mientras que la cocción propiciaba un notable aumento del peso corporal, tanto con los tubérculos como con la carne.

Es un hallazgo muy interesante, ya que se trata del primer estudio que demuestra que los animales obtienen más energía neta de un alimento cocinado que de uno crudo. Y, además, porque demuestra que, pese al efecto positivo de la tritura-

ción en la ganancia de energía, las consecuencias de la cocción resultan mucho mayores. [*Nota de los editores: Wrangham fue uno de los autores de dicho estudio, publicado en 2011.*]

¿Existe alguna prueba genética que avale la hipótesis de la cocción?
Aún no se ha publicado casi nada al respecto, pero somos conscientes de que una pregunta realmente interesante es si podremos hallar, en el genoma humano, indicios de una selección genética vinculada a la ingesta de alimentos cocinados. Podrían estar relacionados con el metabolismo, con el sistema inmunitario o incluso con la respuesta a los compuestos de Maillard, un conjunto de sustancias un tanto peligrosas que se originan durante la cocción. Esta será una línea de investigación muy interesante en el futuro.

«Una pregunta realmente interesante es si podremos hallar indicios de una selección genética vinculada a la ingesta de alimentos cocinados»

Una de las principales objeciones a su hipótesis estriba en la ausencia de indicios arqueológicos de fuego controlado tan remotos como usted propone. Los más antiguos, hallados en la cueva sudafricana de Wonderwerk, datan de hace un millón de años. Sin embargo, usted ha señalado hace poco la existencia de otras pruebas, las cuales situarían el uso de fuego antes de lo que indica el registro arqueológico. ¿Cómo encajan esos trabajos en su hipótesis?
A los chimpancés les encanta la miel, pero comen muy poca porque las abejas los ahuyentan. Los cazadores-recolectores africanos, en cambio, comen entre cien y mil veces más miel que los chimpancés gracias al fuego. El humo perturba el olfato de las abejas, que, en tales condiciones, se abstienen de atacar. La pregunta es: ¿cuándo comenzamos a utilizar el humo para conseguir miel? Aquí es donde aparece el indicador de la miel, un pájaro africano que guía a las personas hasta las colmenas. Los sonidos de la actividad humana, como gritos, silbidos, repiqueteos y, desde hace poco, los vehículos motorizados, lo atraen. Cuando divisa gente, comienza a revolotear y llama su atención con un canto especial, aguardando a que lo sigan. Los indicadores pueden guiar a las personas más de un kilómetro hasta llegar al árbol que contiene la miel. A continuación, los humanos se sirven del humo para aturdir el enjambre y, con un hacha, se abren paso hasta la colmena. El ave, por su parte, consigue así acceder a su sustento: la cera de los panales.

Hasta ahora se pensaba que el comportamiento del ave [que es innato, no aprendido] se habría originado a raíz de su interacción con el tejón melero; el ser humano solo se habría sumado después. Sin embargo, desde hace 30 años se viene observando que los tejones muy raras veces, si es que lo hacen alguna, recurren a los indicadores para localizar la miel. Si ninguna otra especie mantiene esa relación simbiótica con el ave, ¿podría haber existido alguna especie extinta que propiciara la aparición de ese comportamiento en el indicador? Desde luego, los candidatos más obvios son los antepasados del ser humano moderno. Este argumento apunta con fuerza a que nuestros ancestros habrían usado el fuego durante un tiempo lo suficientemente largo como para permitir que la selección natural acabase promoviendo esa simbiosis.

Claire Spottiswoode, de la Universidad de Cambridge, descubrió que existen dos tipos de hembras del indicador grande: las que construyen el nido en el suelo y las que lo hacen en los árboles. Después, comprobó que ambos comportamientos se hallaban vinculados con distintos linajes de ADN mitocondrial [el ADN contenido en los orgánulos celulares que generan energía y que es transmitido por la madre a la descendencia]. Suponiendo una tasa de mutación muy cautelosa, Spottiswoode y sus colaboradores calcularon que ambos linajes se habrían separado hace unos tres millones de años [ello proporciona una estimación mínima de la antigüedad de la especie del indicador grande]. Eso no significa que el hábito de guiar hacia la miel, que depende del uso del fuego por parte de los humanos, sea tan viejo. Este podría haber aparecido más tarde. Pero, al menos, indica que la antigüedad de dicha especie sí resulta compatible con un cambio evolutivo notable.

Si la cocción ha sido uno de los motores de la evolución humana, ¿afecta eso a la manera en que deberíamos comer hoy?
Nos recuerda que comer alimentos crudos es algo muy distinto a comerlos cocinados. Dado que nunca pensamos en las consecuencias que implica el proceso de asimilación de la comida, solemos malinterpretar la ganancia neta de energía que obtenemos de ella. Una de las consecuencias potencialmente más serias es que quienes siguen una dieta basada alimentos crudos no entiendan lo que eso implica para sus hijos. Si alguien piensa «los animales comen los alimentos crudos y las personas somos animales; por tanto, será bueno tomar comida cruda» y cría así a sus hijos, estará poniéndolos en grave riesgo. Somos una especie distinta de cualquier otra. Comer alimentos crudos resulta perfecto para adelgazar, pero si lo que pretendemos es ganar peso, como ocurre en el caso de un niño o en el de un adulto delgado, entonces no deberíamos seguir una dieta basada en alimentos crudos.

***Kate Wong** es redactora de* Scientific American

PARA SABER MÁS

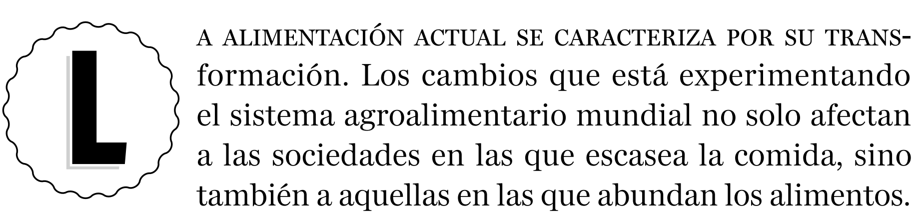
Energetic consequences of thermal and nonthermal food processing. Rachel N. Carmody et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 108, n.º 48, págs. 19.199-19.203, 29 de noviembre de 2011.
Honey and fire in human evolution. Richard Wrangham en *Casting the net wide: Papers in honor of Glynn Isaac and his approach to human origins research*. Dirigido por Jeanne Sept y David Pilbeam. Oxbow Books, 2012.
Metabolic constraint imposes tradeoff between body size and number of brain neurons in human evolution. Karina Fonseca Azevedo y Suzana Herculano Houzel en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 109, n.º 45, págs. 18.571-18.576, 6 de noviembre de 2012.

SOCIOLOGÍA

La alimentación en la sociedad española

¿Cabe esperar un cambio radical de hábitos?

Cecilia Díaz Méndez



La alimentación actual se caracteriza por su transformación. Los cambios que está experimentando el sistema agroalimentario mundial no solo afectan a las sociedades en las que escasea la comida, sino también a aquellas en las que abundan los alimentos. Para comprender dichos cambios, se debe analizar la alimentación como un fenómeno que forma parte de un sistema globalizado, en el que la comida recorre un largo camino desde la tierra hasta el plato. Desde esta perspectiva tan abierta resulta difícil reconocer qué evoluciona y qué permanece, puesto que los factores que afectan a los hábitos alimentarios son tanto económicos como nutricionales, sociales y culturales.



ACTO SOCIAL: Comer en compañía, ya sea en casa o fuera del hogar, constituye uno de los hábitos más arraigados en la sociedad española.

THINKSTOCK

Hasta ahora, la mayoría de las investigaciones en el campo de la alimentación se han realizado desde dos perspectivas: la nutricional, dedicada a analizar la composición de la dieta y determinar su efecto sobre la salud de la población, y la económica, centrada en la evolución del gasto y el consumo. Tales estudios han servido para identificar los problemas alimentarios de las sociedades desarrolladas, desde el alarmante aumento de la obesidad hasta las enormes dificultades que entraña la gestión de un sistema agroalimentario cada vez más complejo y desconocido para el ciudadano. Sin embargo, no bastan para explicar el origen de tales problemas.

Para entender por qué comemos de la manera en que lo hacemos es preciso adoptar también un enfoque sociológico y antropológico. Se necesita conocer qué mecanismos rigen la toma de decisiones en torno a la comida y cómo estas afectan a otros aspectos de la vida, como la familia o el trabajo. También se debe averiguar por qué resulta tan difícil modificar ciertos hábitos o por qué es tan complicado adelgazar. Pero, sobre todo, una visión completa e integradora se antoja imprescindible a la hora de plantear mejoras en los hábitos alimentarios.

Con el objetivo de aplicar ese enfoque sociológico al caso español, el año pasado nuestro grupo de investigación de la Universidad de Oviedo llevó a cabo un estudio a gran escala sobre los hábitos alimentarios en nuestro país. En líneas generales, los resultados dibujan un modelo alimentario muy asentado y extendido, con características del modelo mediterráneo tanto en

la composición de la dieta como en el papel predominante de la mujer en la elección y preparación de los alimentos. Sin embargo, también muestran que España no es ajena a las influencias derivadas de los cambios en el sistema agroalimentario global.

QUÉ COMER EN UN MUNDO GLOBALIZADO

Durante los últimos años, el sistema agroalimentario de las sociedades modernas ha experimentado todo tipo de cambios como consecuencia de la incorporación de los alimentos a los mercados globales. Este fenómeno, la globalización alimentaria, ha afectado a todos los agentes implicados en la cadena, desde los productores y las industrias hasta Gobiernos, compradores y comensales. Aunque resulta difícil establecer relaciones de causa y efecto en este proceso de mercantilización global de los alimentos, sí se pueden señalar algunos rasgos que caracterizan el cambio alimentario que dicho fenómeno está imprimiendo en las sociedades desarrolladas.

Hoy se cuenta con una oferta muy variada en productos, gran parte de los cuales proceden de otros países o regiones. Se puede comer de todo, en cualquier lugar y en cualquier momento del año. Además, es posible hacerlo a unos precios impensables hace unas décadas. Ello ha introducido una diversidad notable en la dieta de todos los grupos sociales, ya que el descenso de los precios ha permitido que la mayor parte de la población pueda acceder a una dieta variada y equilibrada.

Esa oferta global parece estar relacionada con uno de los asuntos que más preocupan a los ciudadanos: la pérdida de la cultura alimentaria propia. Si tomamos como ejemplo los datos de gasto alimentario —y aunque estos solo reflejen una parte de los complejos cambios que afectan a la alimentación—, sí parece que las nuevas tendencias hacen a las sociedades más parecidas. Así, a medida que crece el nivel de desarrollo de un país, disminuye el porcentaje dedicado a la alimentación doméstica y aumenta el invertido en comer fuera del hogar. Si se analiza el caso español, las Encuestas de Presupuestos Familiares del Instituto Nacional de Estadística (INE) revelan que, durante los años ochenta, los españoles dedicaban en torno a un 30 por ciento del presupuesto familiar a comer en casa y un 6 por ciento a hacerlo fuera. En 2012, sin embargo, ese gasto correspondía a un 15 y un 9 por ciento, respectivamente. Tales cifras resultan similares a las que se observan en otros países de nuestro entorno, como el Reino Unido.

Por otro lado, al mismo tiempo que la oferta se ha globalizado, también lo han hecho los riesgos. Fenómenos como la crisis de las vacas locas, en los años noventa, o la más reciente «crisis del pepino», en 2011, ponen de relieve que los peligros derivados de la forma de producir y comercializar los alimentos pueden acabar afectando a los comensales de cualquier parte del mundo. Por ello no es extraño que, junto al aumento de los episodios de este tipo, haya crecido la desconfianza del ciudadano hacia la alimentación. En este contexto se produce una curiosa situación, ya que esta es la sociedad más formada e informada, pero, a la vez, la más preocupada por los problemas derivados de una mala alimentación. Dicho fenómeno no resulta tan llamativo si se tiene en cuenta que la globalización ha aumentado la distancia entre productor y consumidor. Tanto es así que, hoy en día, numerosos compradores y comensales ignoran cómo se produce su comida.

Cecilia Díaz Méndez es doctora en sociología y profesora en el departamento de sociología de la Universidad de Oviedo. Dirige el Grupo de Investigación en Sociología de la Alimentación.



En el pasado, las dificultades que presentaba la elección de la comida se resolvían gracias a una serie de reglas tradicionales acerca de qué era bueno o malo comer; es decir, mediante una cultura alimentaria que la propia sociedad transmitía a sus miembros. Sin embargo, esta práctica se ha debilitado. Hoy en día numerosos jóvenes carecen de conocimientos tradicionales relacionados con el aprovechamiento de las sobras, algunos ignoran qué productos adquirir para elaborar una buena comida, y muchos de ellos saben menos que sus abuelos acerca de cómo cocinarla.

Esas deficiencias se han visto compensadas, al menos en parte, por la creciente presencia de instituciones que ayudan a elegir de la manera adecuada. En la actualidad son varios los organismos públicos encargados de elaborar recomendaciones alimentarias, los cuales indican a los ciudadanos qué deben comer para mantenerse sanos o qué tendrían que evitar para de prevenir enfermedades. Además, los Gobiernos también regulan las relaciones entre empresas y consumidores, a fin de impedir que los problemas derivados de una cadena agroalimentaria cada vez más compleja afecten a la población. En definitiva, se puede decir que el nuevo contexto alimentario se caracteriza por un mayor protagonismo de los Gobiernos, los cuales asisten a un ciudadano cuya cultura alimentaria resulta, al menos en ciertos aspectos, más endeble.

Todo lo anterior podría generar un entorno de consumo confiable y ayudar a reducir la incertidumbre de la población. No obstante, el Gobierno no es el único agente implicado, ya que la información de las instituciones oficiales convive con la que ofrecen las empresas y los medios de comunicación. Ello da lugar a un entorno cacofónico, confuso y ruidoso, en el que no resulta fácil decidir qué es bueno para comer. Los analistas de este campo sostienen que el comensal moderno lo tiene hoy más difícil que nunca para «comer bien», ya que, a pesar de contar con oportunidades para hacerlo, el significado de dicha expresión no parece quedar claro.

EL HOGAR Y EL CONSUMIDOR MODERNOS

En este nuevo contexto de consumo se han producido también cambios en los hogares, muy especialmente en dos sentidos:

EN SÍNTESIS

La globalización, la creciente complejidad del sistema agroalimentario y los cambios en los hogares están transformando los hábitos alimentarios de las sociedades desarrolladas.

Esos motores de cambio actúan sobre las estructuras específicas de cada sociedad. Su análisis requiere un enfoque no solo nutricional y económico, sino también sociológico.

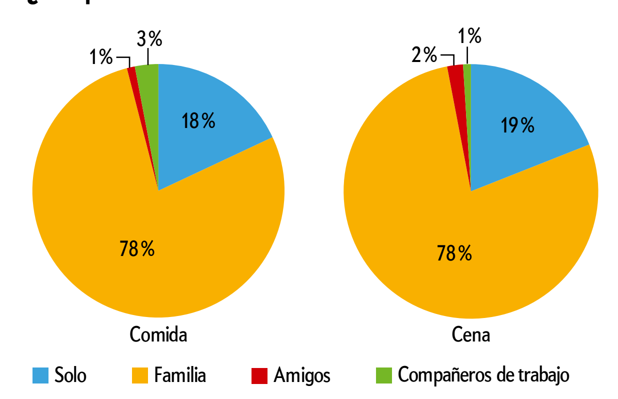
La organización alimentaria de los españoles difiere de la de otros países europeos en varios aspectos, como la distribución de las comidas, los horarios o el papel de la mujer.

La tendencia a adoptar hábitos alimentarios más saludables contrasta con el aumento de la obesidad, la cual afecta en mayor medida a los grupos de menor nivel socioeconómico.

Social y femenino

La organización alimentaria de los españoles se apoya en tres comidas principales, las cuales se realizan mayoritariamente en casa y en compañía de otras personas. Además, se come y se cena mucho más tarde que en otros países. Otro rasgo característico del modelo español se encuentra en el papel de la mujer: aunque durante los últimos años los varones se han incorporado a las actividades culinarias, en España la compra y la preparación siguen siendo un asunto predominantemente femenino.

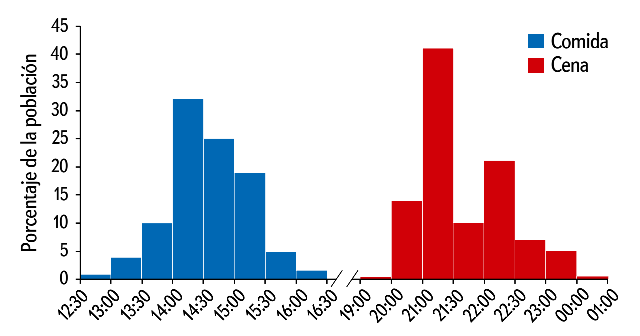
¿Con quién comemos?



En familia

Para los españoles, comer es un asunto marcado por la sociabilidad. Aunque casi una de cada cinco personas come y cena sola, la comida en España puede considerarse un asunto esencialmente familiar. Esta práctica resulta habitual incluso entre quienes viven solos, pues muy a menudo los jóvenes acuden a comer a casa de sus padres, o viceversa.

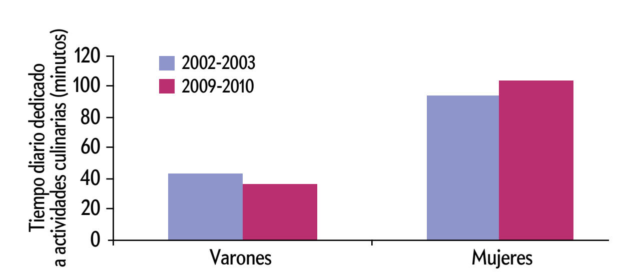
¿A qué hora comemos?



La difícil «racionalización» de los horarios

Los españoles comen y cenan mucho más tarde que el resto de los europeos. Aunque no se conoce con certeza el origen de este comportamiento, parece constituir un impedimento para lo que algunos han denominado «racionalización de los horarios laborales», en referencia a la posibilidad de reducir la larga pausa de la comida y concluir la jornada hacia las cinco o las seis de la tarde. Tanto la centralidad de la comida del mediodía, que no se resuelve con una breve colación, como el alargamiento horario hasta la noche para cenar en familia constituyen rasgos muy propios de la sociedad española. Un cambio en estas costumbres no se reduciría a una simple modificación horaria, sino que afectaría a las relaciones sociales que giran en torno a la comida.

¿Quién cocina más en casa?



Pocos hombres en la cocina

En España, solo uno de cada cinco varones afirma ser el responsable de la alimentación de su hogar. Las mujeres dedican entre 105 y 110 minutos diarios a las actividades relacionadas con la comida, frente a los 55 minutos de media que invierten los hombres en las mismas tareas. Quienes más colaboran son los varones de entre 30 y 40 años con estudios universitarios, por lo que las desigualdades resultan más acusadas entre los sectores de población con menor nivel educativo.

SALVO INDICACIÓN CONTRARIA, TODOS LOS DATOS PROCEDEN DE LA ENCUESTA SOBRE HÁBITOS ALIMENTARIOS (ENHALI) REALIZADA EN 2012 POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SOCIOLOGÍA DE LA ALIMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO; ENCUESTAS DE EMPLEO DEL TIEMPO 2002-2003 Y 2009-2010, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (*actividades culinarias según sexo*)

en su estructura y en el rol doméstico de sus miembros. En cuanto a la estructura, sobresale el menor tamaño del hogar moderno y el envejecimiento de las personas que lo componen. Este último aspecto constituye un rasgo muy característico de sociedades como la española, que durante los últimos años ha experimentado una acusada reducción de la natalidad y un aumento considerable de la esperanza de vida. Como consecuencia, la alimentación de las personas mayores ha cobrado una relevancia particular, sobre todo para la industria.

Con relación a los roles domésticos, destaca la incorporación de la mujer al mundo laboral. Este fenómeno ha influido en la asignación y el tiempo que se dedica a las tareas domésticas; entre ellas, la preparación de alimentos. No existe un acuerdo generalizado sobre el efecto que la incorporación de las mujeres al empleo remunerado ha tenido para la alimentación. Sin embargo, sí se puede decir que las mejoras en el equipamiento de los hogares y la variedad de productos que facilitan las tareas culinarias (troceados, congelados, enlatados, precocinados, etcétera) han contribuido a reducir el tiempo requerido en la preparación de los alimentos y han sido empleados por las mujeres en ese sentido.

Cabe considerar, además, que las diferencias en la composición del hogar (la presencia o no de hijos menores, por ejemplo) y la ocupación de sus miembros han originado diferentes maneras de afrontar la alimentación y el reparto de roles domésticos. Ello ha afectado, sobre todo, a los aspectos organizativos: la compra y la preparación, los horarios de las comidas, las personas para las que se cocina y con quienes se come, etcétera.

Para concluir sobre los aspectos más generales del cambio alimentario en las sociedades modernas, se debe señalar la evo-

lución que han experimentado algunos valores sociales. Hoy en día existe una mayor sensibilidad hacia el hambre que padecen los países pobres, lo cual ha derivado en una preocupación por la manera en que dichas naciones se ven afectadas por los métodos de producción y comercialización de los alimentos. Al mismo tiempo, también ha aumentado la concienciación por el impacto que la actividad agraria e industrial ejerce sobre los recursos naturales. Estos aspectos condicionan los hábitos alimentarios de una parte de la población actual.

A todo lo anterior hay que añadir el creciente interés por mantenerse en un buen estado físico y de salud durante el mayor tiempo posible. Comer de manera saludable, aunque constituya un concepto cargado de ambigüedades y no suponga lo mismo para todos los grupos sociales, representa una preocupación cada vez mayor en las sociedades desarrolladas. Ello afecta de modo directo a la elección de los alimentos y la composición de la dieta, a la interpretación de qué es sano y qué engorda, así como a la integración en la dieta de alimentos funcionales o complementos dietéticos.

En definitiva, los sociólogos de la alimentación coincidimos al considerar que el comensal moderno se enfrenta a una curiosa paradoja: qué comer cuando no falta comida.

EL CASO ESPAÑOL

Las tendencias generales que se han mencionado hasta ahora imprimen cambios sobre todas las sociedades. Sin embargo, actúan sobre las estructuras alimentarias específicas de cada una, por lo que no siempre se observan los mismos cambios ni estos pueden interpretarse del mismo modo. A continuación se describe el patrón actual de hábitos alimentarios de los españoles. La mayoría de la información procede de la encuesta nacional de hábitos alimentarios (ENHALI) realizada en 2012 por nuestro grupo de investigación. Esta fue realizada entre los meses de febrero y agosto del año pasado a un total de 1504 personas, estratificadas por comunidades autónomas y municipios, y seleccionadas por cuotas de edad y sexo.

La organización alimentaria en España se apoya en tres comidas principales: desayuno, comida y cena. Ello contrasta con la pauta observada en el norte de Europa, donde el peso recae en el desayuno y en una comida principal al final de la tarde. Aunque la estructura básica mantiene rasgos tradicionales, los horarios sí muestran pautas de transformación, pues se han ampliado las franjas horarias. Comemos entre las 14:00 y las 15:30, después que en el resto de Europa, pero sobre todo cenamos mucho más tarde, entre las 21:00 y las 22:30. Las comidas secundarias (la merienda y el tentempié de media mañana) resultan también bastante frecuentes, hasta el punto de que se puede afirmar que constituyen un hábito asentado entre la mitad de la población adulta española. Se trata, además, de un comportamiento más femenino que masculino, en especial la merienda, y con mayor irregularidad horaria que las comidas principales.

En España se come mayoritariamente en casa, por lo que no parece que a lo largo de los años la sociedad se haya europeizado o americanizado en este aspecto. Del mismo modo que la dieta no se apoya en una sola comida diaria, tampoco se resuelve con ingestas secundarias fuera del hogar. Al respecto destaca la bajísima frecuencia con la que se come en lugares como la calle o el coche. Además, ni el empleo ni los estudios están creando pautas que empujen a sustituir de manera generalizada la comida doméstica por otras fuera de casa. Estas últimas se encuentran condicionadas sobre todo por las actividades laborales; de ahí que constituyan un hábito más propio de quienes trabajan fuera de casa y, por tanto, en España, más masculino que femenino.

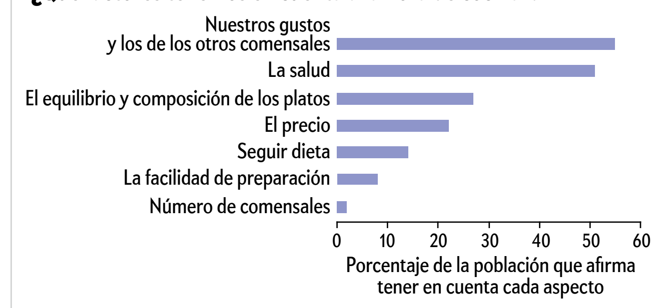
En cualquier caso, resulta imposible efectuar un estudio del modelo alimentario español sin analizar el rol de la mujer. Aunque durante los últimos años los varones se han incorporado

COMPOSICIÓN DE LA DIETA

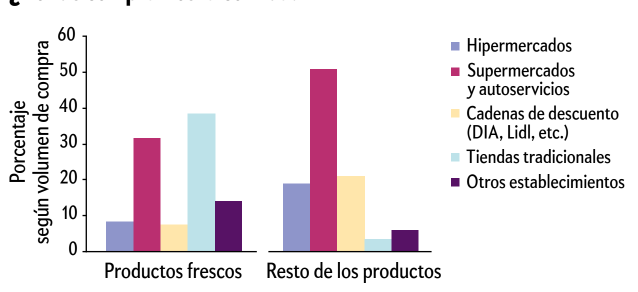
«¿Carne o pescado?»

A la hora de componer el menú diario, los españoles intentan satisfacer los gustos de los comensales sin olvidar por ello la necesidad de llevar una dieta sana y equilibrada. La marcada inclinación por incluir productos frescos en el menú de cada día condiciona fuertemente los hábitos de compra.

¿Qué factores tenemos en cuenta a la hora de cocinar?



¿Dónde compramos la comida?



Criterio gastronómico
Según los datos del Eurobarómetro sobre riesgos alimentarios de 2012, la mayoría de los europeos valora la relación familiar o de amistad que se establece en torno a la comida, así como el placer de degustar alimentos sabrosos. Para los españoles, los gustos de los comensales y los aspectos relacionados con la salud constituyen los criterios principales a la hora de elaborar el menú diario. El precio ocupa un rezagado cuarto lugar.

Supermercados y comercio de proximidad
En España, la compra se realiza con una frecuencia que permita incluir productos frescos de manera regular en el menú diario. Para la adquisición de pan, carnes, pescados, verduras y frutas, se suele optar por el comercio de proximidad: tiendas tradicionales y pequeños supermercados de barrio. Los productos no perecederos, en cambio, suelen adquirirse en supermercados y autoservicios.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2012 (*lugares de compra*)

a las actividades relacionadas con la alimentación, en España siguen siendo las mujeres las principales responsables de comprar y preparar los alimentos, con un peso mayor que en otros países. Según los datos de la Encuesta de Empleo del Tiempo del INE de 2012, las mujeres españolas invierten de media una hora y tres cuartos al día en actividades relacionadas con la alimentación (cocinar, fregar, conservar, etcétera). Los varones, en cambio, a pesar de que un número relevante de ellos afirma poseer conocimientos culinarios, solo dedican a las mismas tareas una media de 55 minutos. Es cierto que a ellas les gusta más que a ellos, pero ambos sexos han aprendido por vías similares, principalmente la familia. Si bien entre las nuevas generaciones comienzan a aparecer pautas de aprendizaje diferentes de la transmisión informal de conocimientos, la formación práctica e Internet constituyen hoy canales muy habituales entre los más jóvenes.

Para los españoles, comer es un asunto marcado por la sociabilidad. Aunque los desayunos suelen ser comidas bastante solitarias para todos, la mayoría come y cena en compañía, incluso una buena parte de quienes viven solos. La compra, no obstante, supone una tarea individual y mayoritariamente femenina, ya que la realiza casi en exclusividad la persona que cocina.

Las normas para la elección de los alimentos indican que tanto las cocineras como los cocineros emplean criterios de salud para confeccionar el menú diario y comparten una misma concepción sobre qué resulta apropiado. El gusto de los comensales constituye otro de los criterios principales a la hora de elegir los productos y, en general, puede afirmarse que existe una cultura alimentaria compartida que ayuda a componer la dieta cotidiana. Ofrecer una dieta variada, equilibrada y sabrosa, así como comer en compañía, describiría bien las prioridades de las cocineras españolas.

El precio no representa un criterio prioritario a la hora de decidir qué comer; al menos no hasta el extremo de alterar las pautas de salud y gusto que predominan en la elección de los alimentos. Con todo, eso no quiere decir que el precio no importe. Los españoles no suelen analizar pormenorizadamente el coste de cada producto ni peregrinan de un lugar a otro en busca de lo más barato; sin embargo, sí suelen elegir el establecimiento en función del precio.

La compra en España se realiza con una frecuencia que permita incluir productos frescos en la dieta cotidiana. En este sentido, el comercio de proximidad de tamaño intermedio y las pequeñas tiendas especializadas se adaptan bien a las necesidades de la dieta española, en la que más de la mitad del gasto se dedica a productos frescos. Estos hábitos explican también que se opte por las grandes superficies para la compra de productos no perecederos, la cual se realiza con menor periodicidad que la de alimentos frescos. Muy estable se muestra también la preferencia por los congelados y las conservas, hoy ya tradicionales, frente al escaso interés por los preparados de otro tipo, como precocinados y comidas rápidas.

REACCIÓN DEL CONSUMIDOR

Durante los últimos años, el grado de confianza de los consumidores se ha convertido en una preocupación para las instituciones públicas y privadas. Aun tratándose de una sociedad más confiada que la de Europa del norte, la mitad de la población española manifiesta inquietud por la contaminación alimentaria, y tres cuartas partes recelan de que los alimentos sean sanos y no entrañen riesgos para la salud. Se confía más en ciertos productos, como los lácteos, las frutas y las verduras. Aun

PERCEPCIÓN DEL RIESGO

(Des)confianza ciudadana

Las recomendaciones alimentarias elaboradas por los Estados y los organismos oficiales conviven con la información que ofrecen las empresas y los medios de comunicación. Ello genera un entorno confuso que no siempre contribuye a aumentar la confianza del ciudadano.



Científicos y profesionales sanitarios

Aunque los Gobiernos y las familias han sido tradicionalmente las instituciones de referencia en lo que atañe a la alimentación, pierden peso cuando se afronta un riesgo alimentario. En tales situaciones, la población española mantiene su confianza en los científicos y los profesionales de la salud, a quienes se han sumado las asociaciones de consumidores y las agencias de seguridad alimentaria. Empresas y medios de comunicación quedan a la zaga.

¿Comemos mejor o peor que antes?

35%
44%
21%
Peor
Mejor
Igual

Opiniones divididas

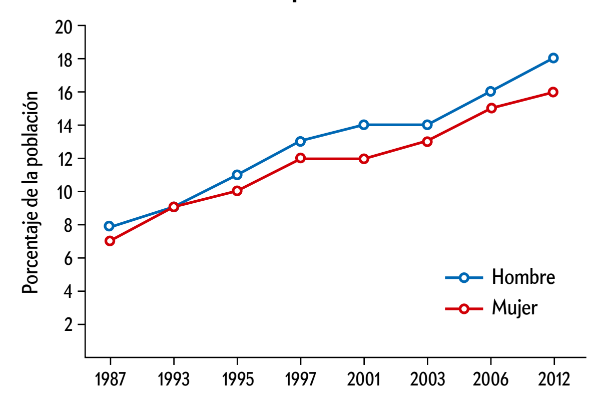
Cuando se pregunta a los españoles acerca de cómo ha evolucionado la calidad de la alimentación a lo largo de los últimos cinco años, las respuestas se dividen. Una buena parte de la población entrevistada considera que ha empeorado; la otra mitad no lo ve así. Teniendo en cuenta lo cohesionada que se encuentra la sociedad española en el resto de los comportamientos alimentarios, esta dualidad podría constituir el embrión de futuros cambios.

ALIMENTACIÓN Y SALUD

Comer en exceso

La obesidad, considerada por la Organización Mundial de la Salud como la principal epidemia no infecciosa del siglo XXI, constituye uno de los grandes problemas sanitarios en las sociedades de abundancia alimentaria. Hoy es uno de los reflejos de la desigualdad social, pues afecta en mayor medida a los grupos de bajo nivel socioeconómico.

Evolución de la obesidad en España



Sobreabundancia alimentaria

La obesidad ha aumentado de forma preocupante durante los últimos años. Según la Encuesta Nacional de Salud, del INE, un 53,7 por ciento de los españoles tiene sobrepeso y un 17 por ciento padece obesidad. Mientras que entre los grupos de estatus ocupacional alto el porcentaje de obesos es del 8,9 por ciento, en las clases más bajas afecta al 23,7 por ciento de la población.

Motivos para ponerse a dieta

46%
11%
8%
15%
2%
18%

Reducir peso
Colesterol
Hipertensión
Diabetes
Aumentar peso
Otros motivos

¿Salud o estética?

En España, una de cada cuatro personas está a dieta. Casi la mitad lo hace para perder peso, frente a un 30 por ciento que obedece a otros motivos de carácter médico (colesterol, hipertensión y diabetes). Tanto los que siguen una dieta como quienes no lo hacen evitan consumir alimentos percibidos como «poco saludables», como dulces, comidas precocinadas, refrescos o mantequilla. En cambio, la mayoría de la población no se priva del pan, las patatas ni la leche. Aunque tales comportamientos podrían responder tanto a criterios de salud como estéticos, pueden también interpretarse de otro modo: hoy estar sano implica mostrar un peso socialmente aceptado, lo que reflejaría el control de un individuo sobre su propio cuerpo.

ENCUESTA NACIONAL DE SALUD, MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD, 2012 (*evolución de la obesidad en España*)

así, los españoles se preocupan por ciertos aspectos relacionados con la producción alimentaria, como la contaminación del suelo o el precio que se paga a los agricultores.

Como pauta general, las variaciones en el nivel de confianza obedecen a diferencias de edad y al grado de estudios. Son los más jóvenes y las personas de mayor nivel educativo quienes más se fían de los profesionales sanitarios, los científicos y las asociaciones de consumidores. Por el contrario, los consumidores más experimentados, las amas de casa y las personas mayores se revelan más suspicaces y críticos con las instituciones.

Los españoles se interesan también por la información que reciben acerca de los productos; sobre todo, la relativa a su composición y propiedades nutricionales. Las innovaciones alimentarias constituyen un aspecto particularmente valorado entre los más jóvenes, quienes aprecian que las empresas recuperen sabores tradicionales, introduzcan otros nuevos o creen productos que faciliten su uso o preparación. Los mayores, por el contrario, son más conservadores y menos favorables a las innovaciones alimentarias.

Por último, el consumidor español se muestra poco participativo con relación a la alimentación. A pesar de las múltiples vías disponibles para reclamar, una buena parte de la población renuncia a hacerlo y, en caso de decidirse, la opción mayoritaria consiste en quejarse verbalmente en el establecimiento. No obstante, y aun sin ser un ciudadano participativo, todo parece indicar que el español medio no es indiferente frente a lo que come. Su modo de comportarse se sitúa más próximo a la acción anónima pero contundente, reaccionando a través de la compra e introduciendo juicios de valor sobre productos, marcas, establecimientos o empresas. La invisibilidad de semejante conducta esconde una forma de participación política a través del consumo: un acto reflexivo y sopesado de comprar o no comprar.

CAMBIOS EN UNA CULTURA TRADICIONAL

A la vista del conjunto de comportamientos mencionados, la sociedad española ofrece una imagen homogénea en lo que se refiere a sus hábitos alimentarios, con una estructura tradicional basada en tres comidas principales y dos secundarias, las cuales se realizan mayoritariamente en casa, en compañía y en franjas horarias bien demarcadas. Aunque esta uniformidad parecería indicar que la alimentación española ha cambiado poco durante los últimos años, un análisis más detenido hace aflorar interesantes heterogeneidades.

Aunque resulte complicado realizar una valoración de los cambios de actitud por falta de datos, se pueden apuntar algunas tendencias de interés. En general, todo parece indicar que son las personas más jóvenes y las de mayor nivel educativo las que se muestran más proclives a adoptar innovaciones drásticas. Otro vector fundamental de los cambios actitudinales se relaciona con la tendencia a seguir hábitos más saludables. Así, uno de cada cuatro españoles lleva a cabo algún tipo de dieta, en la mayoría de los casos por indicación médica. No parece que exista una predisposición a modificar ciertas costumbres de manera contundente, ya que se acepta mejor un cambio débil y de escaso compromiso, como «comer más despacio», que otros más activos, como «comer menos cantidad» o «con menos sal».

También el trabajo remunerado y los estudios imprimen pautas de cambio en los horarios y en la frecuencia con que se come fuera de casa. Aunque estas presiones externas no disuaden a

los españoles de mantener el hábito tradicional de comer en el hogar, comienzan a aparecer algunos comportamientos de clara ruptura. Algunos de ellos aún cuentan con poca difusión, pero están extendiéndose con gran rapidez, como ocurre con la práctica de llevar al trabajo o al centro de estudios la comida preparada en casa. Los estudiantes comen fuera con más frecuencia que otros grupos sociales y lo hacen también más tarde. La tendencia al uso de la fiambrera entre este colectivo refleja un vínculo con el ámbito familiar, ya que, aunque se coma fuera, se sigue llevando comida casera.

En general, comer fuera de casa se mantiene en una ambigüedad entre el trabajo y el ocio. Aunque resulta más común entre los varones y tiene un fuerte nexo con el empleo remunerado, se realiza con amigos y familiares tanto entre semana como durante los fines de semana. En parte, ello explica las dificultades que experimentan los propios comensales a la hora de decidir si se trata de una práctica voluntaria o impuesta, ya sea por las restricciones laborales o por las obligaciones familiares o sociales.

En estos últimos años, sin embargo, la crisis ha limitado las comidas que se realizan fuera del hogar. A menudo, incluso si se trabaja fuera de casa, se regresa a ella para comer. En este sentido, la alimentación doméstica se ha convertido en una estrategia más para ahorrar. La presencia generalizada de mujeres como principales responsables de la alimentación de los hogares y el mayor peso de los varones en el empleo externo remunerado hace que aún resulte ventajoso, en términos de tiempo y de coste, comer en casa. Las tareas de compra y preparación están resueltas por alguna mujer que las realiza para ella misma y para el resto de los miembros del grupo. Incluso quienes viven solos indican que las mujeres no solo cocinan para los miembros de su hogar, sino también para otros, ya que a menudo acogen a familiares (hijos, nietos o padres, por ejemplo) a la hora de la comida.

La crisis ha modificado más los hábitos de compra que los de consumo, ya que el comprador se decanta ahora por establecimientos que ofrezcan precios más económicos pero con garantías de calidad. Probablemente aquí se encuentre la explicación del auge de los productos de marcas blancas, que, aun siendo más baratos, constituyen una muestra de la confianza otorgada al establecimiento tanto en términos de salud como de seguridad alimentaria.

EL FUTURO DE LA «BUENA COMIDA»

La uniformidad de las pautas que rigen la organización alimentaria de los españoles guarda una estrecha relación con los valores y actitudes ligados a la comida. Comer «bien», comer «sano», comer «correctamente» son valores que se hallan presentes en la sociedad a través de los medios de comunicación y las instituciones. Concordar con la norma es la pauta socialmente mejor aceptada, lo que anima a adherirse a ella. Esta aceptación de la norma ofrece la imagen de una sociedad española bien organizada en torno a la alimentación. Pero, aun siendo fiel a la realidad, dicha imagen podría experimentar cambios rápidos en un futuro no tan lejano.

El principal desafío tal vez consista en lograr una dieta saludable para todos los grupos sociales. Una muestra de la persistencia de hábitos poco sanos en nuestra sociedad la hallamos en la obesidad, considerada por la Organización Mundial de la Salud como la principal epidemia no infecciosa del siglo XXI. Su prevalencia refleja además la desigualdad alimentaria que existe entre las distintas clases sociales, pues son los grupos peor situados socioeconómicamente los más afectados.

Otro reto pasa por garantizar una comida segura y de calidad. En este caso, la credibilidad de las instituciones ayudaría a unificar la actitud de los ciudadanos, para quienes los referentes mejor valorados son los especialistas sanitarios. Los Gobiernos, en cambio, merecen menos confianza para los españoles. El resto de los agentes de la cadena agroalimentaria (productores e intermediarios) y, sobre todo, los organismos encargados de la defensa del consumidor (asociaciones de consumidores y agencias de seguridad alimentaria), sí pueden desempeñar una labor relevante, pues los ciudadanos muestran un elevado nivel de confianza en sus acciones. En cualquier caso, no parece que unificar los mensajes y lograr un entorno alimentario confiable pueda lograrse con la acción de uno solo de estos agentes, sino que será preciso el concurso de todos ellos.

En tercer lugar, cabe mencionar el interés social por preservar la cultura alimentaria propia (nacional o regional), muy especialmente en un entorno proclive a la homogeneización. Son muchas las voces que alertan de que la globalización está generando una agricultura y una alimentación cada vez más uniformes. Otros analistas, sin embargo, subrayan que la aparición de numerosos sellos de reconocimiento institucional o ciudadano (denominaciones de origen, productos de comercio justo, etcétera) está ayudando a preservar la agricultura y los productos locales, cada vez más apreciados por el consumidor exigente. El reto de mantener la identidad alimentaria se halla ligado de manera directa a la conservación de las formas locales de producción, próximas al ciudadano y ligadas al territorio.

Por último, conviene señalar que cualquier factor capaz de generar un cambio en los hábitos alimentarios de los españoles deberá acomodarse a las estructuras organizativas de la sociedad. Los horarios de trabajo con largas jornadas matinales o partidas; los escolares, de jornada partida y con un comienzo posterior a las 8:30 o 9:00; así como el horario de máxima audiencia de las cadenas de televisión españolas, posterior a las 21:00, refuerzan la organización alimentaria que se ha esbozado aquí. Aunque esta difiera claramente de la de la mayoría de los países europeos, la resistencia que se ha encontrado para modificar la jornada laboral española puede explicarse por el papel central que desempeña la comida en el día a día de la mayoría. Por todo ello, aunque no se pueda afirmar que la vida social en España se articule en torno a la comida, sí cabe decir que esta forma parte de los soportes básicos que hacen de los españoles una sociedad cohesionada.

PARA SABER MÁS

Alimentación y cultura: Perspectivas antropológicas. J. Contreras Hernández y M. Gracía Arnaiz. Ariel, 2005.

Conflictos sobre lo sano: Un estudio sociológico de la alimentación en las clases populares en Andalucía. E. Martín Criado y J. L. Moreno Pestaña. Junta de Andalucía, Consejería de Salud, 2005.

Alimentación, consumo y salud. Dirigido por C. Díaz Méndez y C. Gómez Benito. *Colección Estudios Sociales*, n.º 24. Obra Social La Caixa, 2008.

Consumo, seguridad alimentaria y salud. C. Díaz Méndez y C. Gómez Benito en *Revista Internacional de Sociología*, n.º 40. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2008.

Del comer al nutrir: La ignorancia ilustrada del comensal moderno. P. Herrrera Racionero. Plaza y Valdés, 2010.

Hábitos alimentarios de los españoles. Dirigido por C. Díaz Méndez. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013 (en prensa).

Página web del Grupo de Investigación en Sociología de la Alimentación, Universidad de Oviedo: **www.grupos.uniovi.es/socialiment**

PSICOLOGÍA

La mente de los vegetarianos

Las primeras investigaciones acerca de la esfera psicológica del vegetarianismo parecen revelar que quienes renuncian a la carne gozan de una mayor empatía

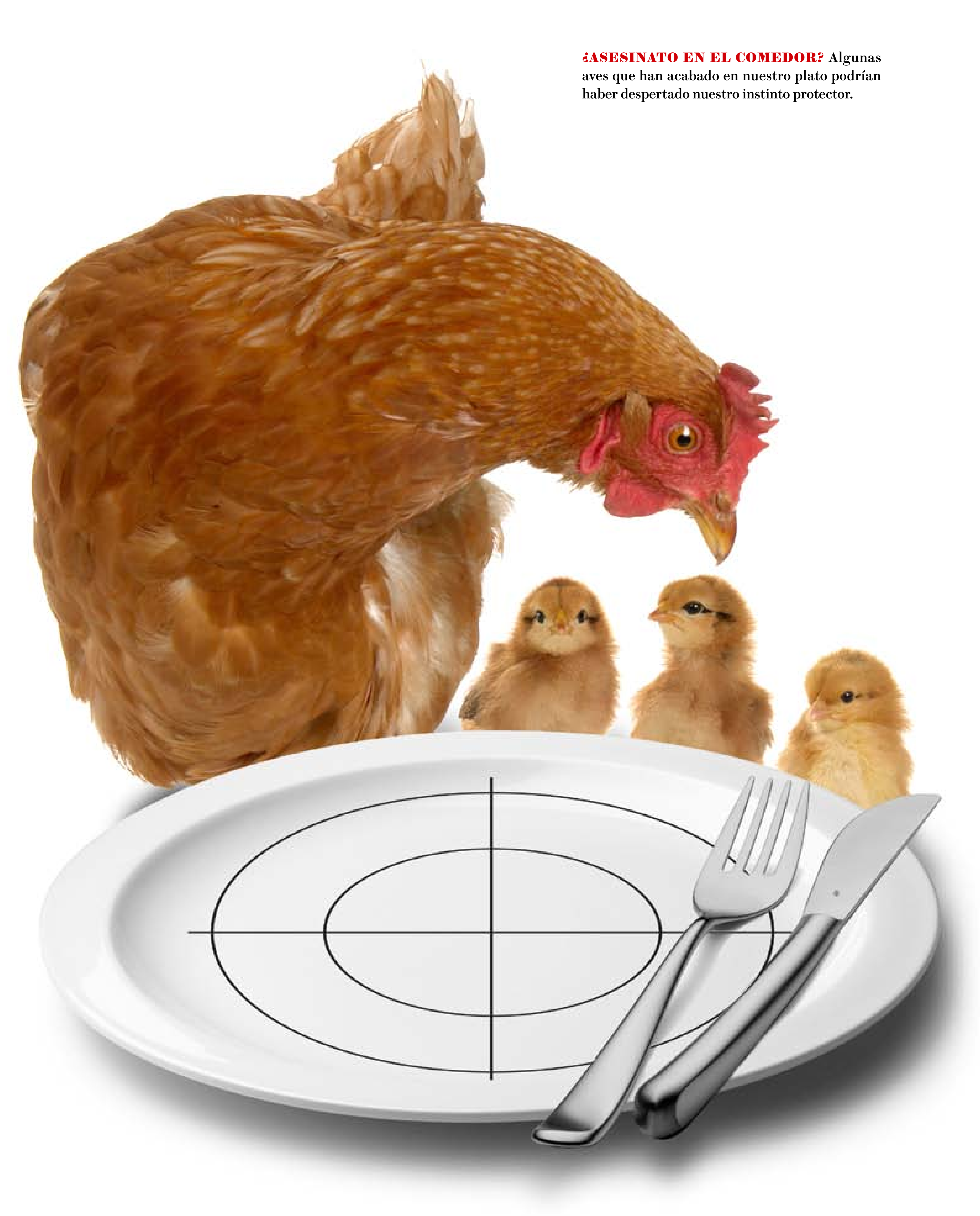
Claudia Christine Wolf

Tarde típica de barbacoa en casa de Roberto y Cristina (nombres ficticios). Sobre el carbón se asan unas salchichas y unos pinchos de verduras, bien apartados unos de otros. «Para mí una verdadera comida ha de contener carne. Yo no podría alimentarme solo de cosas verdes, como Cristina», explica Roberto mientras vierte kétchup sobre la carne y adorna su plato con una hoja de lechuga. «Todo es cuestión de voluntad», contraataca Cristina. «De todos modos, ni siquiera lo has intentado. ¡Por favor, no des la vuelta a mis brochetas con las pinzas de la carne!»

Roberto y Cristina son una pareja feliz. Sin embargo, a la hora de la comida suele haber discusiones. Roberto es un carnívoro empedernido; Cristina, una vegetariana igual de convencida. Hoy tiene 28 años, pero ya de niña rehusaba comer animales. Muy a pesar de sus padres, quienes atribuían el comportamiento de su hija a una «rebeldía preadolescente».

Puede que los progenitores de Cristina no estuviesen tan equivocados. Los vegetarianos vienen nadando contracorriente desde mediados del siglo XIX, cuando, en el seno del movimiento crítico con la industrialización y la expansión urbanística que defendía un estilo de vida más natural, surgieron los primeros grupos de vegetarianos. «Abandonar la carne formaba parte de la ideología de entonces», explica Sebastian Zösch, director de la Asociación Alemana de Vegetarianos, fundada en 1892. Los seguidores del movimiento

© FOTOMASTER/FOTOLIA (*gallina y polluelos*); CHRISTIAN BARTHOLD, G&G (*composición*)



¿ASESINATO EN EL COMEDOR? Algunas aves que han acabado en nuestro plato podrían haber despertado nuestro instinto protector.

solían renunciar también a estimulantes como el tabaco y el alcohol. «Aparte de eso, los argumentos éticos ya desempeñaban un papel.»

Hoy en día, no obstante, el 85 por ciento de los alemanes ingieren carne a diario o casi todos los días y la mayoría se decanta por algún plato de carne cuando visita un restaurante. A pesar de todo, hay libros que convencen a un número cada vez mayor de personas para llevar una vida vegetariana, como *Comer animales*, de Jonathan Safran Foer, o *Por qué amamos a los perros, comemos cerdo y nos vestimos con vacas*, de Melanie Joy. La industria alimentaria parece haber tomado nota: en un gran número de supermercados, la salchicha de tofu es ya habitual.

Desde el punto de vista médico, el vegetarianismo presenta claras ventajas. En comparación con quienes comen carne, los vegetarianos rara vez padecen sobrepeso. Tampoco sufren con tanta frecuencia hipertensión, diabetes, cálculos biliares o renales, enfermedades cardiovasculares e incluso ciertos tipos de cáncer. Con todo, una persona que decida abstenerse de comer carne deberá poner atención para procurarse ciertas sustancias, como la vitamina B12. Sin embargo, aunque los efectos del vegetarianismo sobre la salud se han documentado repetidas veces, no ocurre lo mismo cuando nos adentramos en la esfera psicológica de quienes renuncian a la carne. ¿Por qué algunas personas se hacen vegetarianas? ¿Hasta que punto se diferencian de quienes comen carne?

RAZONES MORALES

«La idea de comer animales me parecía espantosa. Y las prácticas habituales en la cría industrial de animales corroboraron mi hábito de no comer carne», explica Cristina. Un buen día, cuando aún era niña, vio en la televisión un documental en el que se mostraban las condiciones de los mataderos modernos. «Las imágenes me escandalizaron», recuerda. Sin embargo, no se hizo vegetariana desde ese preciso instante. «Tampoco es que no me gustase la carne», admite. Recuerda muy bien su último filete: «Por entonces debía tener unos diez años. Una compañera de clase me invitó a una barbacoa y alguien me puso un filete en el plato». Tenía hambre y se lo comió, relata, pero se sintió invadida inmediatamente por remordimientos de conciencia.

Sus motivos revelan que Cristina es una «vegetariana moral». Con este apelativo se denomina a las personas que deciden alimentarse de fruta y verdura debido, sobre todo, a cuestiones éticas: por ejemplo, porque consumir carne significa matar animales y hacerles sufrir. Una amplia encuesta realizada a través de Internet por las psicólogas Nicole Kämpfe-Hargrave y Kristin Mitte, de la Universidad Friedrich Schiller de Jena, reveló que casi dos tercios de los vegetarianos pertenecen a este grupo. Por su parte, los «vegetarianos saludables» (en torno al 20 por ciento), se preocupan en primer lugar por ellos mismos y modulan su consumo de carne en función de ciertos episodios, como la aparición de escándalos alimentarios relacionados con la carne. A un tercer grupo pertenecen los «vegetarianos emocionales» (11 por ciento), aquellos a quienes la carne simplemente no les agrada. Por último, una pequeña fracción (el 6 por ciento) no recuerda qué acontecimiento desencadenó el cambio en sus hábitos alimentarios.

«Existen por lo general otros factores», explica Zösch. Es posible que algunas personas comiencen a renunciar a la carne por motivos de salud y que, una vez que se han habituado a la nueva dieta, abracen otros argumentos en favor del vegetarianismo. «Con todo, la mayoría de las veces suele haber un desencadenante concreto», puntualiza.

Pero la encuesta de Kämpfe-Hargrave y Mitte arrojó otras conclusiones. Quienes se hacen vegetarianos por motivos éticos tienden a criticar más el comportamiento de quienes consumen carne y se enojan a menudo por su «testarudez». Ello explica que Cristina y Roberto se enzarcen con frecuencia durante las comidas. No parece muy desacertado que a algunos vegetarianos se les apode «apóstoles de la moral». Por lo demás, el vegetariano prototípico es una mujer joven, que vive en una gran ciudad y que posee un nivel educativo superior a la media.

VEGETARIANISMO E INTELIGENCIA

Al parecer, existe también una relación entre el vegetarianismo y la inteligencia. En los años setenta del siglo pasado se llevó a cabo un estudio longitudinal en el que se siguió el



Claudia Christine Wolf es bióloga y redactora de *Gehirn und Geist*, la edición alemana de *Mente y cerebro*.

«En mis tiempos en el servicio militar comí carne en abundancia, pero después decidí que ya bastaba de ese sabor. Como deportista, siempre he prestado especial atención a la alimentación y he llegado a la conclusión de que tanta carne no es sana ni necesaria.»

Martin Huhn, 44 años.
Hace 22 años que no come carne.

LA EMPATÍA EN EL CEREBRO

La red neuronal responsable de la empatía abarca diversas áreas cerebrales; entre ellas, parte de los lóbulos frontales y temporales, la amígdala, el giro fusiforme y la corteza somatosensorial. La actividad de estas zonas nos ayuda a comprender las intenciones y los sentimientos ajenos.

EN SÍNTESIS

Aunque algunos individuos se decantan por el vegetarianismo por razones de salud o gusto gastronómico, la mayoría de las personas que renuncian a la carne suelen hacerlo por motivos morales.

Vegetarianos y veganos suelen trazar una frontera psicológica menos nítida entre humanos y animales. A menudo atribuyen a estos últimos emociones que generalmente se consideran humanas.

Algunos experimentos recientes han mostrado que, ante imágenes que muestran sufrimiento animal, el cerebro de los vegetarianos presenta una mayor actividad en las áreas implicadas en la empatía.

desarrollo social y sanitario de 17.200 chicos y chicas británicos desde su nacimiento. David Batty, de la Universidad de Glasgow, y sus colaboradores registraron el cociente intelectual de los niños a la edad de diez años y, veinte años después, les preguntaron acerca de sus hábitos alimentarios. El análisis de 8170 casos mostró que, en comparación con quienes comían carne, los vegetarianos hacían gala de un «CI infantil» más elevado: 106 frente a 99 puntos.

Los investigadores sospechan que una mayor inteligencia tal vez contribuya a identificar las ventajas de la alimentación vegetariana; esto es, sus efectos positivos sobre la salud. De manera similar, se sabe desde hace tiempo que el porcentaje de fumadores resulta menor entre las personas más inteligentes y que, si estas fuman, es más probable que acaben dejando el hábito. Tal vez ello explique por qué Ingbar Lundberg, del Instituto Karolinska de Estocolmo, y sus colaboradores hallaron en 2006 una correlación entre la inteligencia y las enfermedades cardiovasculares: a mayor CI, menor era el riesgo de padecerlas. Parece plausible que las personas más inteligentes presten mayor atención a su cuerpo y que, en consecuencia, disfruten de una salud mejor.

Pero, a pesar de todas las razones que puedan esgrimirse a favor de una dieta vegetariana, la carne sigue formando parte de la dieta de la mayoría. ¿Cómo lo justifican quienes comen carne? ¿Acaso para ellos la frontera entre personas y animales resulta mayor que para los vegetarianos?

Con el fin de responder a estas cuestiones, el psicólogo Marek Drogosz, de la Academia de las Ciencias en Varsovia, y sus colaboradores se han servido del concepto de *singularidad humana*. Según este, existen determinadas características psicológicas que serían exclusivas de los humanos, como la capacidad para sentir emociones secundarias: arrepentimiento, culpa, melancolía, esperanza, etcétera. Por el contrario, los animales manifestarían únicamente sensaciones primarias, como miedo, pánico, dolor o satisfacción. En una encuesta realizada a 123 sujetos con diversos hábitos alimentarios, concluyeron que las personas que comen carne diferenciaban con más exactitud las emociones primarias de las secundarias. Por su parte, veganos y vegetarianos atribuían a los animales un mayor grado de las experiencias emocionales que generalmente se consideran humanas.

«Tras un largo viaje por Asia, me propuse cambiar mi estilo de vida y no comer más carne. Comprar y comer como un vegetariano resulta divertido; sobre todo con Ellen, mi pareja, vegetariana desde que nació.»

Manuel Vial, de 29 años, dejó de comer carne hace tres años. Ellen van der Woude, de 27, ha sido vegetariana toda su vida.

Los resultados de un estudio subsiguiente con 74 participantes se revelaron de especial interés. Se halló que vegetarianos y veganos no distinguían entre los animales tradicionalmente «comestibles» y aquellos que habitualmente se tienen como mascotas. Todo lo opuesto a quienes comen carne: en compa-



ÁGAPE FUNERARIO: Los vegetarianos rechazan sacrificar un animal para satisfacer el placer propio.

© MATHOM/FOTOLIA (*polluelos*); CHRISTIAN BARTHOLD, G&G (*composición*)



¿CERDOS BOBOS? Los cerdos son animales inteligentes y sensibles. Sin embargo, ello no impide que la mayoría de las personas disfruten de una buena chuleta.

ración con el perro, el cerdo era el que contaba con peor consideración y al que se le atribuían menos emociones secundarias. Los cerdos son tan inteligentes, juguetones y sensibles como los perros. Entonces, ¿por qué las personas que comen carne los miran con otros ojos?

Según la psicóloga estadounidense Melanie Joy, el consumo de carne se acompaña de un vacío de conciencia. Un sencillo experimento mental basta para comprobarlo. Imagínese ante un humeante plato de espaguetis a la boloñesa, una comida deliciosa para un carnívoro. ¿Qué ocurriría si alguien le dijera que la carne procede de un golden retriever? La mayoría de nosotros perdería el apetito con solo pensarlo. «La percepción de la carne queda condicionada casi exclusivamente por la cultura», observa Joy. «En el caso del golden retriever, pensamos de forma automática en el animal vivo.» Semejante representación se encuentra bloqueada cuando se trata de animales que solemos incluir en nuestros platos. Y, con ella, se bloquean también nuestras emociones y nuestra empatía por el ser vivo. En este sentido, los vegetarianos se muestran muy diferentes, ya que el cerdo y el perro generan en ellos sentimientos similares.

En nuestra cultura, el consumo de carne cuenta además con un valor simbólico peculiar. Según los antropólogos, representa la dominancia de los humanos sobre la naturaleza, así como la masculinidad y el poder. Después de todo, nuestros antepasados debían esforzarse para conseguir su ración de carne, y una captura exitosa bien podía significar la supervivencia de la familia.

Así parecen corroborarlo los resultados de un estudio que Michael Dunne, de la Universidad Victoria de Wellington, y sus colaboradores llevaron a cabo en el año 2000. Los investigadores encuestaron a vegetarianos y carnívoros a fin de conocer mejor sus valores personales. El análisis de diversos cuestionarios concluyó que las personas que comían carne tendían a ser más dominantes y otorgaban menos significado a las emociones que los vegetarianos. Tales resultados subrayan el significado simbólico de comer carne. Al parecer, el concepto que una persona tiene de sí misma puede quedar reflejado en sus hábitos alimentarios.

ESTUDIOS NEUROLÓGICOS

En 2010, un equipo dirigido por Massimo Filippi y Maria Rocca, del Instituto Científico y Hospital Universitario San Raffaele de Milán, analizó por primera vez las bases neuronales del vegetarianismo. Los investigadores se preguntaron si la empatía de quienes renuncian a comer carne sería reconocible en un escáner cerebral. En general, las personas pueden llegar a sentir como propias las emociones ajenas: la alegría y el

LA CARNE EN EL MUNDO

El consumo mundial de carne se muestra muy irregular. Mientras que en los países emergentes se observa un rápido aumento (por constituir un símbolo de bienestar y pujanza económica), en la mayor parte de los países industrializados su consumo se ha estabilizado en un nivel elevado. Estados Unidos es uno de los principales consumidores de carne del mundo: los varones ingieren un promedio de 196 gramos al día; las mujeres, 125. Sin embargo, los escándalos relacionados con la carne suelen mermar la confianza de los consumidores y reducir las ventas.

© YEVGENIY 11/FOTOLIA (*cerdo*); CHRISTIAN BARTHOLD, G&G (*composición*)

DIETA Y SALUD

Sanos sin carne: ¿qué deben vigilar los vegetarianos?

La carne roja constituye, sin duda, una fuente de proteínas de primera categoría. Sin embargo, contiene también una gran cantidad de ácidos grasos saturados, los cuales aumentan la concentración de colesterol «malo» en sangre. A largo plazo, ello incrementa el riesgo de sufrir arteriosclerosis, un estrechamiento de las arterias que puede provocar infartos cerebrales y de miocardio.

Veganos y vegetarianos presentan asimismo una menor probabilidad de padecer diabetes. En comparación con las personas que consumen carne, la prevalencia de la enfermedad entre los primeros se reduce aproximadamente a la mitad. No obstante, se desconoce si dicho efecto aparece como consecuencia de haber renunciado a la carne o, por el contrario, a la inclusión en la dieta de otros alimentos, como frutos secos o semillas. Algunos estudios parecen indicar que los vegetarianos incluso enfermarían menos de cáncer. Cabe insistir, sin embargo, en que los resultados al respecto son aún poco esclarecedores y necesitan pasar exámenes más precisos.

A pesar de las ventajas que la alimentación vegetal parece aportar a la salud, los resultados deben tomarse con cautela: todo estudio relativo a la alimentación resulta difícil de interpretar. Para extraer conclusiones inequívocas, los sujetos examinados deberían seguir una dieta estricta (por ejemplo, un grupo se alimentaría exclusivamente de carnes rojas, y el otro, solo con hojas de lechuga), lo cual resulta inviable por motivos éticos.

Por otro lado, para mantenernos sanos no basta con renunciar a la carne, sino que deberemos esforzarnos por seguir una dieta equilibrada. Sustituir la carne por productos precocinados o comida rápida, como hacen algunos vegetarianos, conlleva el riesgo de padecer déficits alimentarios. Los derivados de la soja, las legumbres, las nueces y ciertas semillas aportan proteínas y ácidos grasos no saturados de primera necesidad, además de zinc, calcio y hierro, los cuales son absorbidos con facilidad, sobre todo cuando se acompañan de vitamina C.

La vitamina B12, en cambio, solo puede encontrarse en productos de origen animal. Dado que su carencia puede causar problemas neurológicos y psiquiátricos, veganos y vegetarianos deben poner atención para complementar su dieta, sobre todo las mujeres embarazadas y las madres en período de lactancia.

(Fuente: «Health implications of a vegetarian diet: A review». K. Marsh et al. en *American Journal of Lifestyle Medicine*, vol. 6, págs. 250-267, 2012.)

sufrimiento del prójimo activan en nuestro cerebro la red neural responsable de la empatía, fundamental para la interacción social. Con todo, la reacción depende de la consideración que tengamos del otro individuo, ya que siempre comprendemos mejor los sentimientos de aquellas personas cercanas a nosotros.

Los neurocientíficos mostraron a varios sujetos fotografías de sufrimiento humano o animal, tanto de escenas violentas como de aquellas que representaban un daño corporal, junto a imágenes de paisajes naturales. Al mismo tiempo, registraron la actividad cerebral de los participantes mediante técnicas de imagen por resonancia magnética funcional. Los investigadores hallaron que los veganos y los vegetarianos reaccionaban con mayor intensidad ante las escenas negativas. Diversas regiones implicadas en la empatía, como la circunvolución del cíngulo anterior o el giro frontal inferior, se activaban en ellos más que en el resto, lo que indicaba que percibían dichas escenas como más agobiantes. La reacción de veganos y vegetarianos ante las imágenes de animales resultó muy llamativa: se observó en ellos una disminución de la actividad de la amígdala, lo que apuntaba a que estaban intentando controlar sus emociones. Sin duda, percibían el sufrimiento animal con especial intensidad.

En 2012, en un estudio posterior, Filippi y Rocca se centraron en otra característica: nuestra capacidad para predecir las intenciones de otras personas mediante el análisis de sus movimientos. Los investigadores mostraron a los participantes breves películas con personas, cerdos y monos en movimiento. ¿Acaso los vegetarianos y los veganos intentaban comprender mejor a los animales?

Eso parecían indicar los resultados. Los vegetarianos mostraron una mayor actividad en las áreas cerebrales implicadas en la imitación, como el giro frontal medial en el hemisferio derecho y la ínsula. En los veganos, en cambio, se observó una mayor respuesta en el giro frontal inferior y el giro temporal medial del hemisferio izquierdo. Además, ante los vídeos en los que aparecían monos, tanto vegetarianos como veganos mostraron una activación de diversas áreas relacionadas con el lenguaje, como si tratasen de leer los labios de los animales.

Tales diferencias en el procesamiento de las emociones parecen ofrecernos algunas pistas acerca de por qué ciertas personas optan por el vegetarianismo y otras no. Es probable que dichas diferencias sean congénitas y que, junto con determinados acontecimientos vitales clave, configuren la predisposición de algunas personas a abandonar el consumo de carne. Una hamburguesa en mal estado envió al hospital a la psicóloga Melanie Joy. Cristina todavía recuerda el horroroso documental que vio de niña. Aún serán necesarias más investigaciones para esclarecer los mecanismos que subyacen al vegetarianismo. Por ahora, sin embargo, todo parece indicar que la mente de las personas que comen carne y la de quienes se niegan a hacerlo funcionan de distinta manera.

© Gehirn und Geist

«De pequeña vi la película *Rudy, el cerdito de carreras*. Después pensé por primera vez de forma consciente en el consumo de carne. Me gustaría que las personas reflexionasen más a menudo acerca de sus hábitos alimentarios.»

Sophie Johanna Batsching, 26 años. Hace 17 que es vegetariana.

PARA SABER MÁS

The brain functional networks associated to human and animal suffering differ among omnivores, vegetarians and vegans. M. Filippi et al. en *PLoS One* vol. 5, págs. 1-9, 2010.

The humanity of what we eat: Conceptions of human uniqueness among vegetarians and omnivores. M. Bilewicz et al. en *European Journal of Social Psychology*, vol. 41, págs. 201-209, 2011.

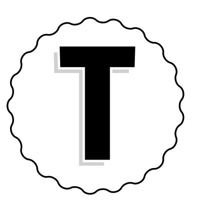
The «vegetarian brain»: Chatting with monkeys and pigs? M. Filippi et al. en *Brain Structure and Function*, vol. 218, n.º 5, págs. 1211-1227, 2012.

Tierra prodigiosa

MICROBIOLOGÍA

Movilizar las bacterias y los hongos del suelo en provecho de las plantas cultivadas supone una alternativa prometedora al uso intensivo de abonos y plaguicidas

Richard Conniff



TOMATES FRESCOS DE UN TENDERETE A PIE de carretera; cortados en rodajas y aliñados con una pizca de sal y pimienta y unas gotas de aceite de oliva, todo un placer veraniego. ¿Será esta una costumbre abocada a la desaparición? Posiblemente, sí.

Casi todos los años de la pasada década, los responsables de salud pública de la costa oriental de Estados Unidos han seguido el rastro de tres o cuatro brotes de salmonelosis cuyo origen se halló en los tomates locales. Los brotes suelen ser pequeños y afectan a entre 10 y 100 personas, pero en ancianos y niños la intoxicación puede acarrear la hospitalización e incluso la muerte.

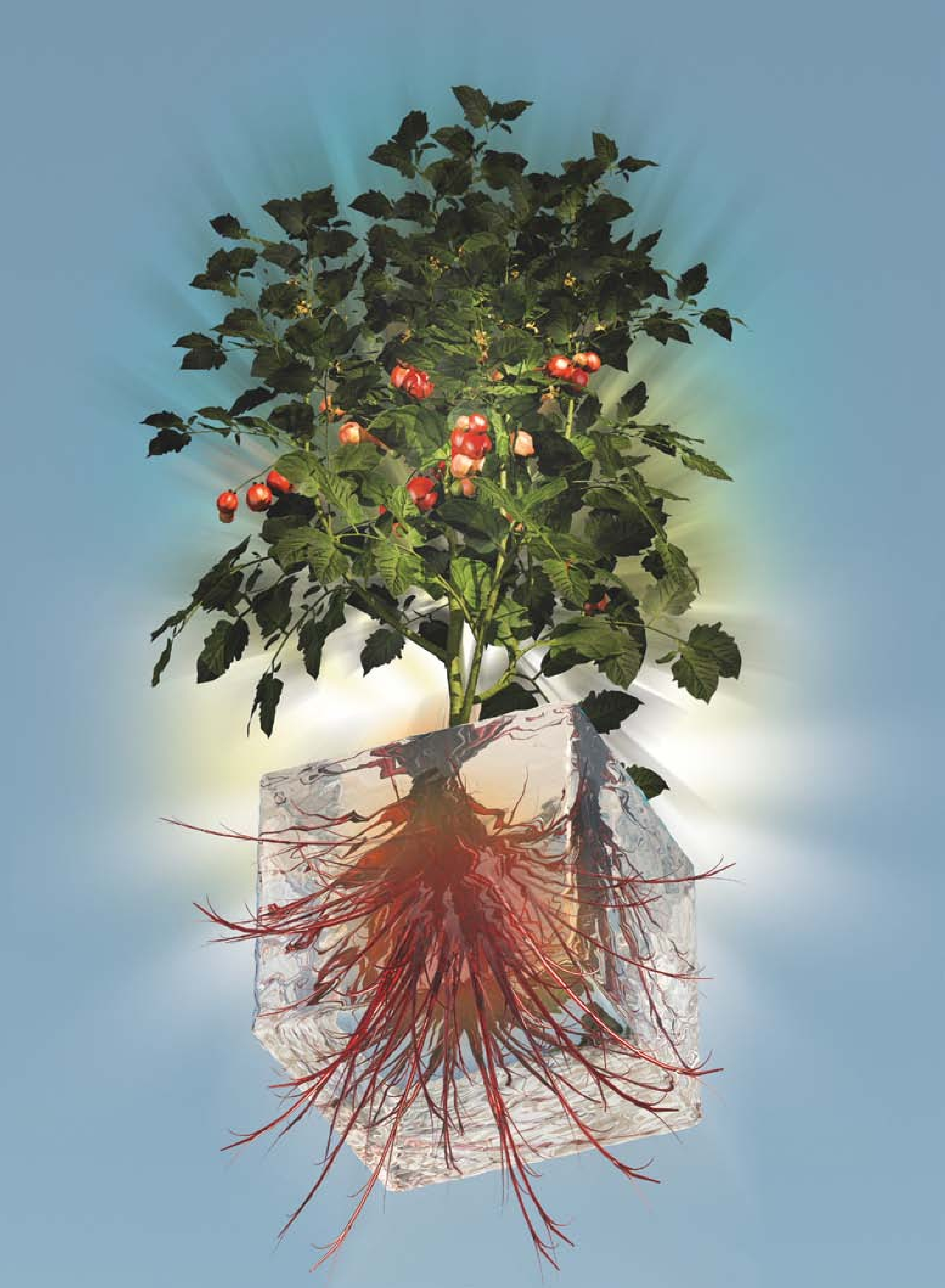
Hace unos años, Eric Brown, director de microbiología del Centro de Seguridad Alimentaria y Nutrición Aplicada de la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos de EE.UU. (FDA), comenzó a preguntarse por qué el fenómeno afectaba solo a la costa este. La salmonela probablemente llega a los tomatales a través de las heces de gaviotas, tortugas, aves de corral y otros animales. ¿Por qué entonces no están contaminados también los tomates de la costa occidental?

La respuesta a esa pregunta la da un examen minucioso del microbioma, la comunidad de bacterias, hongos y virus que viven en íntimo contacto con las plantas. Mientras en la costa occidental los tomates conviven con bacterias del suelo que inhiben y destruyen la salmonela, en la oriental, aunque se han hallado cepas semejantes, existen en menor cuantía. Por ello, en un estudio piloto llevado a cabo en el estado de Virginia, la FDA ha cultivado una de estas bacterias indígenas, *Paenibacillus*, para pulverizarla después sobre tomateras jóvenes. Ha obtenido el mismo resultado: acabar con la salmonela. Brown espera que los cultivadores de tomate puedan utilizar este método a escala comercial en 2014 o 2015.

Añadir bacterias a un cultivo para prevenir una enfermedad humana supone el inicio de un camino inédito en el campo de la seguridad alimentaria. Podría extenderse a melones, espinacas, coles de Bruselas y otros cultivos que han acaparado titulares por causar brotes de *Salmonella* o *Escherichia coli*. El proyecto del tomate forma parte de un cambio más profundo en el cultivo de alimentos, basado en los nuevos conocimientos sobre la microbiota del suelo y las múltiples formas de dependencia entre microorganismos y plantas.

Podría tratarse de la antítesis de la revolución verde, que a mediados del siglo xx multiplicó la productividad agrícola con el

DON FOLEY



aporte masivo de fertilizantes, plaguicidas y agua. La revolución microbiana, en cambio, pretende aprovechar lo que ya existe: hasta 40.000 microorganismos en cada gramo de suelo. Hasta hace poco apenas se conocía esta comunidad —que podría ser bautizada como «agrobioma»—. Pero en la última década, la secuenciación de ADN de bajo coste y otras técnicas han ayudado a desvelar el mundo secreto de los microbios [*véase* «La vida bajo nuestros pies», por Janet K. Jansson y James I. Prosser; Investigación y Ciencia, agosto de 2013]. Los botánicos pueden identificar ahora todos los miembros de la comunidad microbiana asociada a una planta. Y, al hacerlo, han comenzado a entender cómo se comportan las diversas especies en distintas estaciones o tipos de suelo, y han empezado a diseñar formas de manipularlas para promover el crecimiento vegetal.

Los edafólogos tienen que desentrañar tanta información nueva que Andrea Ottesen, el microbiólogo de la FDA que resolvió el caso de los tomates contaminados con salmonela, lo describe con un suspiro como una tarea descomunal. Pero poner en orden esa copiosa información para facilitar la labor de los agricultores parece apremiante a tenor de los enormes desafíos que afronta la agricultura: escasez de agua, episodios meteorológicos catastróficos e impredecibles (como la sequía del pasado verano que devastó el cinturón del maíz de EE.UU.), temores sobre la sostenibilidad de los abonos nitrogenados fabricados con combustibles fósiles y, por si no bastara, la perspectiva de dos mil millones de bocas más que alimentar a mediados de siglo.

Las nuevas investigaciones señalan a los microorganismos como una alternativa a los actuales métodos agrícolas y a la ingeniería genética que mitigaría algunos de esos problemas. Por ejemplo, los girasoles y otras plantas producen de forma natural el azúcar trehalosa, que contribuye a estabilizar las membranas de la célula vegetal y reduce el daño causado por los ciclos de desecación y rehidratación. Mediante ingeniería genética se han obtenido vegetales que sintetizan esa sustancia, como el maíz y las patatas. Pero Gabriel Iturriaga, del Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de México, espera tratar los cultivos sin necesidad de modificarlos genéticamente: para ello recurrirá a una bacteria productora de trehalosa, *Rhizobium etli*, que coloniza el entorno de las raíces (rizosfera) de las habas. Un primer experimento con una versión transgénica de la bacteria aumentó un 50 por ciento la cosecha en condiciones normales y salvó la mitad de ella en una sequía.

Los métodos microbianos también ofrecen a los agricultores una mayor flexibilidad. Uno de los inconvenientes de las plantas modificadas genéticamente para resistir la sequía es su escasa productividad en los años de lluvias abundantes. Por esa razón, los labradores intentan predecir el tiempo antes de escoger las semillas para la próxima siembra. Un cóctel de microorganismos que facilitara la adaptación de la planta a un cambio brusco en las condiciones de crecimiento resultaría de gran ayuda.

Russell Rodríguez y Regina Redman, de Adaptative Symbiotic Tecnologies, en Seattle, han estado trabajando con una micorriza que parece incrementar la tolerancia de los cultivos convencionales de arroz y maíz a la salinidad, la sequía y el calor y frío intensos. El hongo habita en las raíces de la hierba *Dichanthelium lanuginosum*, que soporta hasta 70 ºC de temperatura en los suelos cercanos a las fuentes termales del Parque Nacional de Yellowstone. Esta gramínea resiste las altas temperaturas solo si está colonizada por el hongo y si este está infectado a su vez por un virus que actúa como un interruptor de la tolerancia al calor. Este descubrimiento ha desatado la búsqueda de micorrizas en ambientes inhóspitos, desde las dunas hasta los escarpes de alta montaña. Según Rodríguez, el propósito es conseguir una mezcla que mejore el rendimiento entre un 10 y un 15 por ciento en un abanico de condiciones cada vez más impredecible.



Richard Conniff es escritor especializado en comportamiento humano y animal. Su último libro publicado es *The species seekers: Heroes, fools, and the mad pursuit of life on earth* (W. W. Norton, 2010).

LA GUERRA DEL FOSFATO

Otros investigadores están retocando el agrobioma para facilitar el suministro de nutrientes esenciales a las plantas. Los agricultores saben desde hace siglos que las habas, los guisantes y otras leguminosas poseen un poder casi mágico para fertilizar el suelo. Y hace más de cien años los científicos descubrieron que los responsables de la absorción del nitrógeno atmosférico no son las plantas, sino las bacterias que colonizan sus raíces en el interior de nódulos.

Las plantas también requieren fosfato, un mineral sumamente escaso en los suelos de numerosos países tropicales. Los agricultores de los países en desarrollo suelen depender del mercado internacional de abonos fosfatados. En los años 2007 y 2008 el precio del fosfato y de otros fertilizantes experimentó un fuerte incremento, lo que contribuyó a desatar disturbios por el alza de los alimentos desde México hasta Bangladés. En algunos países los labradores han renunciado a utilizar el fosfato como abono y se exponen a sufrir una hambruna.

Sin embargo, desde hace décadas se conoce un remedio potencial a esa situación. Ciertos microbios del suelo, los hongos micorrícicos arbusculares, forman esporas y filamentos alrededor de las raíces que facilitan la absorción de fosfato. Pero hasta ahora no ha habido forma de producir en masa y esparcir el hongo con facilidad. El suelo enriquecido con las esporas puede acarrearse de un país a otro, pero se desconoce el impacto ambiental generado por la introducción de hongos foráneos. Y las esporas suelen hallarse tan dispersas que el agricultor que quiera sembrar una planta como la mandioca tendría que verter una tonelada métrica de suelo enriquecido por cada hectárea cultivada.

EN SÍNTESIS

Los microorganismos que habitan el suelo y colonizan los cultivos no solo causan enfermedades humanas. En ciertos casos hacen todo lo contrario, pues actúan como centinelas de la seguridad alimentaria y ofrecen una sólida alternativa ecológica al uso masivo de abonos y plaguicidas.

La diseminación de bacterias en los cultivos formó parte de la estrategia en un estudio realizado en Virginia en el que se fumigó plántulas de tomate con ciertas bacterias del suelo que destruyen la salmonela. Se espera que esta estrategia prevenga los brotes de intoxicaciones alimentarias que cada año provocan los tomates crudos en la costa este de EE.UU.

La aplicación de hongos a plantas de mandioca, un proyecto impulsado por investigadores colombianos, favorece la absorción del fosfato por las raíces sin recurrir a abonos caros, una gran ayuda en los países tropicales, con suelos muy empobrecidos en nutrientes.

Con la ayuda de nuevas técnicas, algunas empresas han logrado por fin producir en masa los hongos y comercializarlos en un gel concentrado. Ahora el agricultor puede tratar una hectárea con el contenido de una botella de refresco. Equipos de investigación recolectan cepas autóctonas de hongos, seleccionan las que parecen mejores y las entregan al fabricante para que inicie la producción. Ian R. Sanders, de la Universidad de Lausanne, y Alia Rodríguez, de la Universidad Nacional de Colombia, emprendieron el año pasado estudios de campo con la mandioca, un tubérculo que forma parte de la alimentación básica en numerosos países en desarrollo.

A pie de campo, el campesino diluye el gel en un cubo de agua y durante unos segundos sumerge en él un saco de arpillera con esquejes de mandioca antes de plantarlos. En el primer período de pruebas, el tratamiento redujo a la mitad el uso de fosfato y mejoró el rendimiento un 20 por ciento. Sanders y Rodríguez están combinando múltiples cepas de hongos con las tres o cuatro variedades de mandioca más comunes. También están experimentando con las cepas en África y, de tener éxito, ampliarán el programa a media docena de países de ese continente, donde los agricultores de subsistencia podrán beneficiarse de la técnica.

Otra estrategia prometedora para la simbiosis agrícola implica el estudio de las señales químicas que los microorganismos intercambian para comunicarse. La escucha de esta conversación cotidiana permite identificar las bacterias más aptas para suministrar nutrientes a las plantas o descubrir debilidades de los patógenos. Tal estrategia ha permitido hallar un arma potencial contra *Xylela fastidiosa*, la bacteria responsable de la enfermedad de Pierce, que está causando estragos en las vides de California. El patógeno permanece latente en el insecto vector (la chicharrita *Homalodisca vitripennis*, un cicadélido) hasta que este se alimenta de la vid. Despierta en el interior de la cepa, pero después vuelve a caer en latencia cuando se acerca el momento de ser succionada por otro insecto similar.

«En pocas palabras, el estilo de vida que adopta *X. fastidiosa* para ser transmitida por el insecto es incompatible con su capacidad de proliferar en la planta», explica Steve Lindow, de la Universidad de California en Berkeley. El investigador tomó genes de la bacteria que esta emplea para entrar en latencia y los introdujo en el genoma de la vid. Cuando *Xylela* penetra en la planta, los transgenes de esta incitan a la bacteria a comportarse como si estuviera a punto de ser succionada por el insecto, lo que la hace inofensiva.

PROMESAS INCUMPLIDAS

Hasta ahora los nuevos métodos microbianos no han rendido los frutos esperados en el campo, en parte por la falta de financiación para convertir la investigación básica en aplicaciones prácticas. Los biólogos moleculares no se sienten inclinados a trasladar sus conocimientos a los agricultores. «Es la historia de dos mundos», afirma Ken Giller, de la Universidad de Wageningen, quien trabaja en África para mejorar el uso de las rizobacterias en las leguminosas fijadoras de nitrógeno. Según él, el estudio molecular de la genética de la fijación del nitrógeno ofrece un ejemplo fascinante. Mientras, los agricultores siguen tratando sus plantas con cepas bacterianas obtenidas hace treinta años. «Ello sucede en gran parte porque los científicos están obsesionados con hallar el siguiente mínimo detalle», opina Giller. Numerosos descubrimientos interesantes permanecen en el tintero y no se materializan en aplicaciones.

Muchos productos que han llegado a los campos de labranza resultan ineficaces porque no han sido probados correctamente o han sido fabricados sin cuidado, tal vez con intenciones fraudulentas. El Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) de Nigeria ha analizado 106 productos agrícolas, la mayoría de ellos microbianos. Todos menos cinco fracasaron porque no contenían el componente activo indicado en la etiqueta, presentaban una cantidad insuficiente de él o habían resultado ineficaces en los ensayos en invernadero y en el campo.

Una gran parte de los productos defectuosos proceden de Europa, Estados Unidos y Japón. En lugar de enfrentarse a los fabricantes, el IITA está instruyendo a los organismos reguladores de los países consumidores para que lleven a cabo sus propios controles de calidad. El instituto está elaborando un sello de garantía para que los compradores reconozcan los productos que cumplen unos estándares de calidad razonables.

Lograr que los agricultores entiendan las nuevas reglas del agrobioma va a resultar sumamente complicado, aunque también muy estimulante, opina Ann Reid, directora de la Academia estadounidense de Microbiología. Significa convencerlos de que su trabajo no es una mera cuestión de insumos y productos: un poco de agua por aquí, un poco de plaguicida por allá. Supone fomentar uno de los objetivos que la agricultura ha tenido siempre, la colaboración con la vasta comunidad microbiana del suelo. Si los agricultores y los científicos unidos culminan con éxito esta empresa, estaremos más cerca de poder alimentar a un mundo hambriento.



EXAMINANDO LA MANDIOCA: Una estudiante de Colombia inspecciona una planta tratada con un gel cargado de hongos que favorece la absorción de fosfato, un nutriente esencial.

CORTESÍA DE IAN R. SANDERS, UNIVERSIDAD DE LAUSANNE

PARA SABER MÁS

Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. Julieta Rodríguez Salazar et al. en *FEMS Microbiology Letters*, vol. 296, n.º 1, págs. 52-59, julio de 2009.

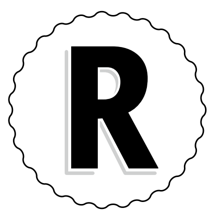
Microbes helping to improve crop productivity. Ann Reid en *Microbe Magazine*, vol. 6, n.º 10, octubre de 2011. **http://bit.ly/1aLQBDX**

BIOTECNOLOGÍA

Cultivos transgénicos: sigue el debate

¿Son la única vía para paliar el hambre en el mundo o un experimento planetario no controlado?

David H. Freedman



obert Goldberg se derrumba en el sillón de su despacho y gesticula: «¡Monstruos de Frankenstein! ¡Seres que escapan reptando del laboratorio! Esto es lo más deprimente a lo que me he tenido que enfrentar en mi vida».

Goldberg, biólogo molecular de plantas de la Universidad de California en Los Ángeles, no se debate contra la psicosis. Expresa su desesperación ante la constante necesidad de afrontar lo que él ve como temores infundados sobre los riesgos de los cultivos modificados genéticamente (CMG). Lo más frustrante de todo, asegura, es que ese debate tendría que haber concluido hace décadas, cuando los investigadores presentaron una montaña de pruebas absolutorias: «Hoy tenemos que hacer frente a las mismas objeciones que nos formulaban cuarenta años atrás».

Al otro lado del campus, David Williams, biólogo celular especializado en la visión, manifiesta otro parecer: «Hemos visto mucha ingenuidad científica en el impulso de esta tecnología. Puede que hace treinta años no supiésemos que, al introducir un gen en otro genoma, este último reacciona. Pero hoy cualquier experto sabe que un genoma no es algo estático. Los genes insertados pueden cambiar de múltiples formas y eso puede suceder generaciones más tarde». Como resultado, insiste, una planta potencialmente tóxica podría acabar burlando las pruebas de seguridad.

Williams admite que pertenece a la reducida minoría de biólogos que se cuestionan la seguridad de los cultivos transgénicos. Sin embargo, sostiene que la única razón por la que son tan pocos es que el campo de la biología molecular de plantas protege sus intereses. La financiación, gran parte de la cual procede de las multinacionales que comercian con semillas transgénicas, beneficia a quienes promueven el uso de CMG. Y denuncia que aquellos biólogos que apuntan posibles problemas sanitarios o de otro tipo asociados a los cultivos transgénicos sufren el escarnio del resto de la comunidad. Según él, semejante situación obliga a guardar silencio a muchos científicos críticos con los CMG.

Con independencia de quién tenga razón, hay algo innegable: a pesar de la abrumadora cantidad de estudios que indican que los cultivos transgénicos son seguros para el consumo, el debate sobre su uso continúa haciendo estragos. Los escépticos argumentan que no cabe hablar de un exceso de precauciones cuando lo que estamos haciendo es jugar con las bases genéticas del suministro mundial de alimentos. Pero, para investigadores como Goldberg, la persistencia de los temores sobre los CMG resulta poco menos que desesperante: «A pesar de los cientos de millones de experimentos genéticos efectuados sobre cada organismo terrestre y los miles de millones de comidas que se han ingerido sin causar ni un solo problema, hemos regresado a la ignorancia».

BENEFICIOS Y PREOCUPACIONES

Hasta ahora, el grueso de los estudios científicos que se han hecho al respecto apunta en una sola dirección. David Zilberman, economista ambiental y agrícola de la Universidad de Berkeley, y uno de los pocos investigadores que cuenta con el crédito de ambos bandos, sostiene que los beneficios de los CMG superan de largo los posibles riesgos para la salud. Zilberman argumenta que el uso de transgénicos no solo ha bajado el precio de los alimentos: «También ha aumentado la seguridad de los agricultores al permitirles utilizar menos plaguicidas. Y ha incrementado la producción de maíz, algodón y soja entre un 20 y un 30 por ciento, lo cual ha permitido sobrevivir a personas que no podrían hacerlo de otro modo. Si su aceptación fuese mayor en todo el mundo, el precio [de los alimentos] sería aún menor y menos gente moriría de hambre».

Zilberman cree que en el futuro esas ventajas serán aún mayores. La FAO estima que, para ajustarse al crecimiento demográfico, la producción mundial de

KEVIN VAN AELST



alimentos tendrá que haber aumentado un 70 por ciento en 2050. El cambio climático hará que gran parte de las tierras cultivables sean más difíciles de labrar. Los transgénicos, sostiene Zilberman, permitirían incrementar la producción y podrían crecer en tierra seca y salina, soportar temperaturas altas y bajas, y resistir plagas, enfermedades y herbicidas.

Pero, a pesar de tales promesas, buena parte del mundo se ha dedicado a prohibir, limitar y huir de los CMG. En EE.UU. casi todo el maíz y la soja son transgénicos. Europa, en cambio, solo ha autorizado dos cultivos: el maíz MON 810, de Monsanto, y la patata Amflora, de la alemana BASF. (Debido a la falta de aceptación social y política, en enero de 2012 BASF decidió retirar su producto del mercado y trasladar sus principales centros de investigación a EE.UU.) Sin embargo, ocho naciones de la UE han prohibido su cultivo. Los países asiáticos —China y la India incluidos— aún deben aprobar la mayoría de los CMG; entre ellos, un arroz resistente a insectos que produce mayores rendimientos con menos plaguicidas. En África, donde el hambre acosa a millones de personas, varias naciones se han negado a importar alimentos modificados a pesar de su menor precio (pues rinden más y necesitan menos agua y plaguicidas). Kenia los ha prohibido por completo en medio de una desnutrición generalizada. Hasta ahora, ningún país tiene planes para cultivar arroz dorado, una variedad diseñada para contener más vitamina A que las espinacas (el arroz tradicional carece de este nutriente). La falta de vitamina A causa más de un millón de muertes al año y medio millón de casos de ceguera irreversible en los países en vías de desarrollo.

En todo el mundo, solo una décima parte de las tierras de cultivo están ocupadas por transgénicos. Cinco países (Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá y la India) comprenden el 90 por ciento de los CMG del planeta. Varios países de América Latina se han opuesto a recurrir a estas plantas. Y las voces contrarias a los alimentos modificados se oyen cada vez más, incluso en EE..UU.: en agosto de este año, al menos 20 estados estaban debatiendo leyes relativas al etiquetado de alimentos que incluyan ingredientes transgénicos.

El miedo que alimenta toda esa actividad tiene una larga historia. El público ha venido preocupándose por la seguridad de los CMG desde que un grupo de científicos de la Universidad de Washington desarrollase las primeras plantas de tabaco transgénico en los años setenta. A mediados de los noventa, cuando los primeros cultivos de ese tipo llegaron al mercado, Greenpeace, el Sierra Club, Ralph Nader, el príncipe Carlos y varios cocineros famosos adoptaron posiciones muy beligerantes en su contra. Los consumidores europeos se alarmaron sobremanera: una encuesta realizada en 1997 halló que el 69 por ciento de la población austríaca veía serios riesgos en los CMG, en comparación con el 14 por ciento de los estadounidenses.

En Europa, el escepticismo sobre los alimentos transgénicos viene asociado desde hace tiempo a otras cuestiones, como el resentimiento contra las grandes compañías agrícolas estadounidenses. Pero, con independencia de cuáles sean sus razones, la actitud europea resuena en todo el mundo e influye en la

David H. Freedman ha publicado sobre temas científicos, económicos y tecnológicos durante 30 años. Su último libro, *Equivocados: Por qué los expertos siguen fallando y cómo saber cuándo no confiar en ellos* (Empresa Activa, 2011) explora las prácticas científicas que inducen a engaño.



política de algunos países en los que el cultivo de transgénicos implicaría enormes beneficios. «En África no les importa lo que hagamos los salvajes americanos. Miran a Europa y ven que allí rechazan los cultivos transgénicos, por lo que deciden renunciar a ellos», apunta Zilberman. Quienes en Europa combaten los CMG han conseguido sus apoyos apelando al principio de precaución: este sostiene que, dado el tipo de catástrofe que podría causar un transgénico tóxico e invasivo, el uso de tales cultivos debería detenerse hasta que se demuestre que la técnica es absolutamente segura.

Pero, como bien saben los médicos, no hay nada «absolutamente seguro». Lo máximo que puede lograrse es descartar un riesgo significativo tras haberlo buscado exhaustivamente. Tal es el caso de los cultivos transgénicos.

UN EXPEDIENTE LIMPIO

La raza humana lleva alterando el genoma de las especies vegetales mediante las técnicas de cría selectiva desde hace miles de años. El trigo ordinario es una creación cien por cien humana. De hecho, nunca podría sobrevivir en la naturaleza, ya que sus semillas no se dispersan. Además, los investigadores llevan más de seis décadas empleando técnicas de mutagénesis para modificar el ADN vegetal mediante radiaciones y productos químicos. Gracias a ellas se han creado variedades de trigo, arroz, cacahuetes y peras que hoy se han convertido en pilares de nuestra agricultura. Sin embargo, dicha práctica nunca ha inspirado grandes objeciones entre los científicos ni entre el público, y tampoco se han detectado posibles riesgos para la salud.

La diferencia entre las técnicas de transgénesis y los procedimientos tradicionales reside en que estos últimos suelen intercambiar o alterar grandes cantidades de genes. La transgénesis, en cambio, permite insertar en el genoma de una planta un único gen (o un pequeño grupo de ellos) procedente de otra especie vegetal o incluso de una bacteria, un virus o un animal. Sus partidarios argumentan que semejante precisión hace que cuente con una probabilidad mucho menor de causar sorpresas. Y la mayoría de los biólogos moleculares de plantas defienden que, en el improbable caso de que una planta transgénica implicase algún riesgo sanitario, este podría identificarse y eliminarse con suma rapidez. «Sabemos adónde va a parar el gen, podemos medir la actividad de cada gen vecino y somos capaces de demostrar con exactitud qué cambios se producen y cuáles no», explica Goldberg. [*Para más información sobre cómo se analizan*

Continúa en la página 78

EN SÍNTESIS

La inmensa mayoría de la investigación sobre cultivos genéticamente modificados indica que son seguros para comer y que podrían ayudar a paliar el hambre de millones de personas en todo el mundo.

Sin embargo, no todas las críticas a las variedades modificadas pueden rechazarse con facilidad. A menudo la comunidad trata con desprecio los estudios que cuestionan la seguridad de tales cultivos.

Un análisis cuidadoso de los riesgos y los beneficios permite defender una expansión de los cultivos genéticamente modificados si esta va acompañada de controles de seguridad más estrictos.

Dos formas de mejorar una planta

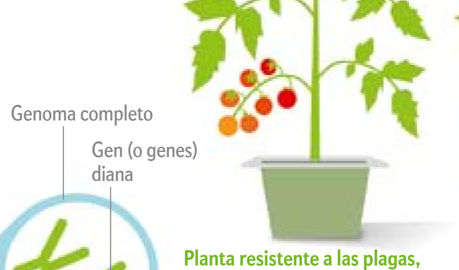
La modificación genética y la mejora tradicional tienen mucho en común: ambas se encargan de producir nuevos cultivos mediante la alteración del genoma de la planta. Las diferencias se encuentran en las herramientas utilizadas, en el número de genes que se intercambian y en la aceptación del consumidor medio.

Cruzamiento tradicional

Desde los primeros días de la agricultura, los humanos han seleccionado las mejores plantas y las han cruzado para producir especímenes nuevos. En el ejemplo reproducido aquí, un tomate combina la resistencia a las plagas de uno de los progenitores con la buena calidad de la fruta del otro.

Modificación genética

En los años setenta del siglo XX, se desarrollaron nuevos métodos para insertar genes específicos de una planta en el ADN de otra. Aunque mucho más rápida, esta técnica persigue el mismo objetivo que el cruzamiento tradicional. Los primeros investigadores utilizaron *Agrobacterium* para introducir nuevos genes en células vegetales. Más tarde, científicos de la Universidad de Cornell desarrollaron la «pistola de genes», la cual dispara partículas de tungsteno recubiertas de ADN que atraviesan la pared celular.





Polinización cruzada



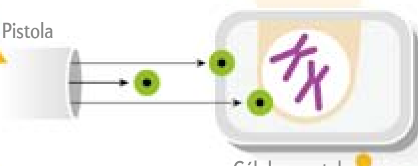
Agrobacterium
La bacteria introduce el ADN en la célula vegetal

Los genes diana se incorporan al ADN bacteriano





Pistola de genes
Se inyectan partículas metálicas recubiertas de fragmentos de ADN



Polinización cruzada

Repetición

Las células que contienen el ADN modificado se dividen y generan nuevas plántulas





Planta resistente a las plagas con frutos de gran calidad

JEN CHRISTIANSEN

POLÍTICA AGRÍCOLA

Los cultivos transgénicos en Europa

¿Está científicamente justificada una postura tan restrictiva?

PERE PUIGDOMÈNECH

Europa ha sido hasta hoy el mayor mercado agroalimentario del mundo. La actual Unión Europea constituye el primer importador mundial de productos agrícolas y el primer exportador de productos agroalimentarios. La agroalimentaria es la mayor industria de toda Europa, tanto por su valor económico como por el empleo que genera.

Europa ha sido también, junto con EE.UU., uno de los grandes impulsores de nuevas técnicas en agricultura. Sin embargo, en el debate sobre la conveniencia de cultivar y consumir plantas modificadas genéticamente, Europa en su conjunto ha adoptado una posición extraordinariamente restrictiva. Las razones son múltiples y diferentes en cada país, pero lo cierto es que en 2013 la polémica aún pervive y la naturaleza de las decisiones futuras se antoja incierta.

Si miramos hacia el pasado, veremos que Europa se erigió desde el principio como uno de los grandes actores en el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas. La primera empresa de semillas fue fundada en Francia a mediados del siglo XVIII por los hermanos Vilmorin. Los jardines botánicos, como los Reales Jardines de Kew, en Inglaterra, desempeñaron un papel esencial en el estudio de la diversidad vegetal. Los trabajos de Linneo en Suecia y, más tarde, los de Mendel en Bohemia sentaron las bases de los estudios sobre variabilidad genética. Y si bien es cierto que el gran impulso a la mejora de plantas durante el siglo XX se dio en EE.UU., en Europa también se crearon prestigiosos centros de investigación agrícola, algunos de los cuales mantienen hoy una actividad notable.

En lo que se refiere a la modificación genética de plantas, en 1983 se publicaron de forma casi simultánea dos artículos fundacionales: uno por parte de grupos europeos públicos de Bélgica y Alemania, y el otro de la mano de un laboratorio privado estadounidense, pero que pertenecía a un grupo industrial suizo.

Desde aquel momento se pusieron en marcha, primero en EE.UU. (1986) y luego en Europa (1990), sendos marcos regulatorios con el objetivo de garantizar que la aplicación de las nuevas técnicas no ejerciese efectos negativos en la salud humana, la animal ni en el entorno. Sobre la base de la directiva europea 1990/220, hasta 1998 se aprobó un reducido número de plantas modificadas genéticamente para su consumo y cultivo; entre ellas, el maíz resistente a insectos MON 810, que en estos momentos es la única planta transgénica que se cultiva en Europa.

Compromiso político

El cultivo de plantas modificadas se inició en EE.UU. en 1994 sin una oposición pública importante. Sin embargo, diversos grupos comenzaron poco después una intensa actividad opositora que ha continuado desde entonces. La situación creada ha impedido la aprobación de nuevas variedades para su cultivo en Europa y, al mismo tiempo, ha provocado la aparición de nuevas baterías de regulaciones. Entre ellas, la relativa al etiquetado de los alimentos que contengan algún ingrediente procedente de plantas modificadas.

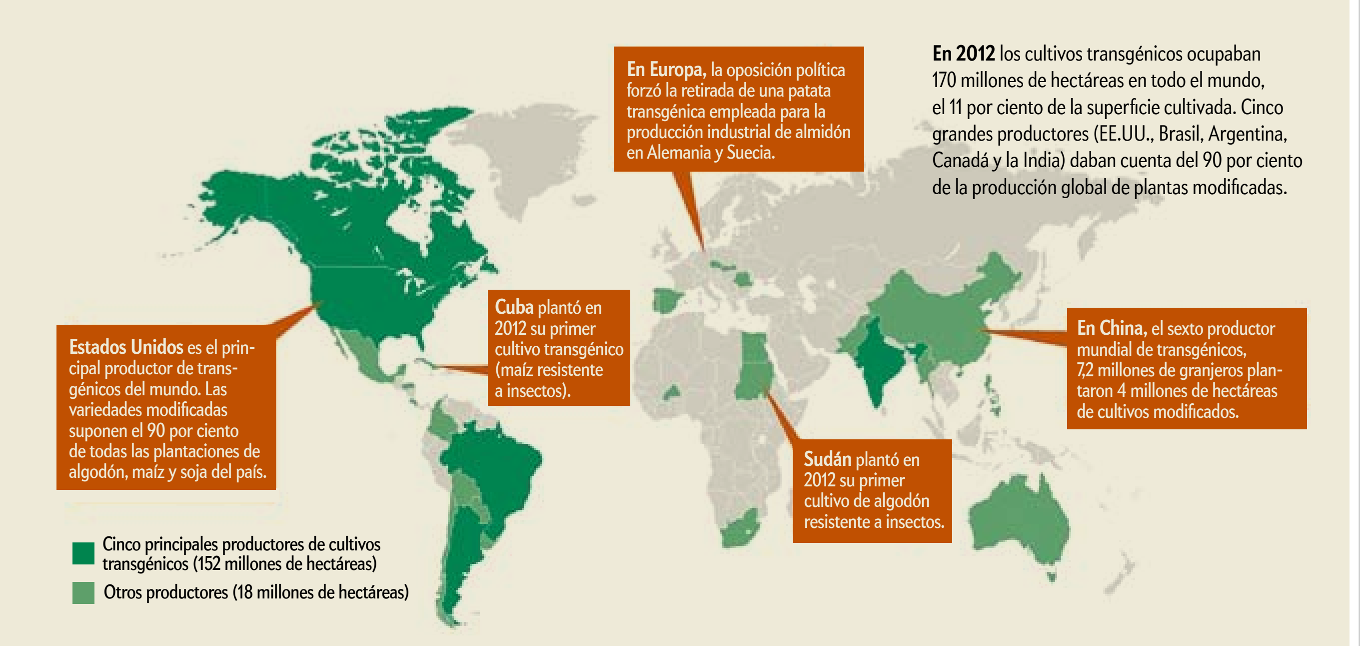
Entre otros aspectos, el etiquetado constituye una de las diferencias más notorias entre EE.UU. y Europa. En nuestro continente fue introducido a requerimiento de las asociaciones de consumidores, y hoy cuenta con el apoyo de una mayoría aplastante de los ciudadanos de todos los Estados miembros. La directiva obliga a que la etiqueta de cualquier producto haga constar la presencia de más de un 0,9 por ciento de componentes modificados genéticamente. Dicho porcentaje representa una cifra arbitraria fruto del compromiso político. Por su parte, los electores californianos votaron en noviembre de 2012 en contra de una normativa similar, argumentando que carecía de interés nutricional y que contribuiría a aumentar el precio de los alimentos.

Las regulaciones actualmente en vigor han ido precisando qué requisitos debe cumplir una determinada modificación genética para que se autorice su consumo o cultivo. En principio, la normativa incluía la obligación de que tales regulaciones se basasen en criterios científicos, así como que cada caso fuese estudiado por separado por comités independientes. Según el procedimiento aprobado, debe ser una institución científica, el panel de transgénicos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), la encargada de analizar las solicitudes para introducir un nuevo transgénico. Sin embargo, los países miembros pueden presentar cualquier objeción que, por muy poco fundamentada que esté, los expertos deben considerar y analizar. Ello genera una gran cantidad de trabajo al panel, que no puede cumplir con los plazos exigidos.

Por otra parte, aunque la EFSA acabe emitiendo una opinión favorable a una nueva planta modificada, la decisión final queda en manos de comités políticos que no acaban nunca de ponerse de acuerdo. Ante semejante situación, la Comisión Europea ha ido adoptando una posición cada vez más restrictiva. La composición del panel plantea asimismo todo tipo de dificultades. Lo rutinario de la tarea y una interpretación excesivamente estricta de los conflictos de interés alejan a muchos expertos que podrían contribuir a adoptar resoluciones de gran calidad científica.

Como consecuencia, la aprobación de organismos modificados genéticamente constituye hoy por hoy un proceso muy costoso, que requiere millones de euros y que puede demorarse durante años sin ninguna garantía de que la decisión final se base en argumentos científicos. Semejante coyuntura parece contradecir el espíritu y la letra de las directivas vigentes.

La situación en la que nos encontramos en 2013 obedece a diversos factores, los cuales se alejan del puro componente científico y que cuentan con un peso distinto en cada Estado miembro y en cada momento. En numerosos países, como los del norte, no se cultivan las especies con modificaciones aprobadas, por lo que no existe un interés para ello. En otros, como Grecia y Austria, la mayoría de los agricultores poseen pequeñas propiedades, por lo que obtienen un valor añadido debido a normativas de protección geográfica, de protección de variedades o de fomento de la agricultura ecológica. Y en otras naciones (en general, las mayores productoras agrí-



DE: «GM CROPS: A STORY IN NUMBERS», *NATURE* 497, PÁG 22, 2 DE MAYO DE 2013. FUENTE: SERVICIO INTERNACIONAL PARA LA ADQUISICIÓN DE APLICACIONES AGROBIOTECNOLÓGICAS (ISAAA.ORG). REPRODUCIDO Y TRADUCIDO CON EL PERMISO DE MACMILLAN PUBLISHERS, LTD.

colas, como Francia) coexisten diferentes tipos de agricultura, lo que deriva en conflictos de carácter sindical y político.

Algunos países, como el Reino Unido o los Países Bajos, cuentan con una firme tradición investigadora y se muestran más proclives al uso de nuevas técnicas; en otros, como Italia, la ideología dominante es la del retorno a una agricultura tradicional.

Un futuro incierto

Hoy en día toda la población europea disfruta de alimentos a un precio asequible y con niveles muy altos de calidad y seguridad. Sin embargo, en términos generales puede afirmarse que no existe ninguna conciencia sobre lo excepcional que resulta este acceso a la alimentación ni sobre la necesidad de asegurarlo. La ciudadanía europea ignora que la inmensa mayoría de su alimentación se basa en especies que no provienen de Europa, y que si hemos alcanzado estos niveles de producción y calidad ha sido gracias a que, durante siglos, hemos venido aplicando de manera sistemática las mejores técnicas agrícolas disponibles en cada momento.

Hoy, sin embargo, debido al constante aumento de la población, al calentamiento global y a los cambios sociales que se prevén, nuestro reto consiste en incrementar la producción de alimentos en una cantidad que la FAO estima en un 70 por ciento si deseamos garantizar su abastecimiento futuro. Ante semejante situación, resulta difícil entender el rechazo frontal a técnicas capaces de resolver algunos de estos problemas.

A la perpetuación del conflicto ha contribuido la desconfianza que en numerosos países despierta la presencia de grandes compañías multinacionales en el negocio de semillas. No obstante, el elevado coste que implica la aprobación de un nuevo transgénico ha provocado que solo un pequeño grupo de grandes empresas pueda disponer de los fondos necesarios para llevar a cabo todo el proceso.

Esta situación ha expulsado del mercado a las pequeñas compañías de semillas y a los grupos públicos. Pero, por otra parte, el uso de cultivos modificados genéticamente está generando grandes beneficios económicos, los cuales han quedado en manos de un reducido número de grandes empresas. Ello ha servido como argumento a organizaciones no gubernamentales y políticas para oponerse a estas plantas, en un proceso que se retroalimenta y que deja al consumidor perplejo y al científico con argumentos que nadie parece querer escuchar. Al final, la realidad es que la imposición de condiciones más estrictas para aprobar cultivos genéticamente modificados no parece haber servido para aumentar la confianza del público.

En 2013, la única planta modificada cultivada en Europa es el maíz MON 810, que produce resistencia a la plaga del taladro. Se cultiva esencialmente en España y Portugal, donde dicho insecto causa importantes pérdidas a los agricultores. Pero, a pesar de no cultivar otros transgénicos, Europa importa al año millones de toneladas de productos genéticamente modificados, sobre todo soja y maíz para piensos, y algodón para tejidos.

Entretanto, en el resto del mundo las cosas van evolucionando. En los últimos años han comenzado a cultivarse nuevas especies, como un tipo de remolacha que, en solo tres años, ha sido adoptada por la práctica totalidad de los agricultores estadounidenses. También Brasil ha desarrollado una judía para su uso interno. Ha habido dificultades para cultivar una berenjena modificada en la India, y aún se esperan varias decisiones relativas al arroz en China. En el futuro, las relaciones comerciales entre EE.UU. y la Unión Europea habrán de enfrentarse a las discrepancias que genere el uso de estos productos.

Mientras la ciencia continúa su trabajo y aparecen nuevos métodos y aplicaciones sobre cuyo uso deberemos pronunciarnos, cada país europeo continúa con su propia concepción de la agricultura, la alimentación y la interacción con el entorno. Puede que antes o después la situación cambie, pero en este momento no parece posible predecir si tendrá lugar un desbloqueo o si, por el contrario, asistiremos al refuerzo de una ciudadela europea que protege concepciones de interés cuestionable.

Pere Puigdomènech *trabaja en el Centro de Investigación en Agrigenómica de Bellaterra (Barcelona), centro mixto del CSIC y varias universidades e instituciones públicas catalanas. Es miembro del Grupo Europeo de Ética de las Ciencias y las Nuevas Tecnologías de la Unión Europea.*

Viene de la página 74
los riesgos de las plantas transgénicas, véase «Productos transgénicos e ingesta», por Karen Hopkin; Investigación y Ciencia, junio de 2001].

Y aunque parezca raro incorporar a una planta un gen procedente de un virus, los defensores de los CMG arguyen que eso tampoco resulta tan extraño: los virus llevan millones de años insertando su ADN en el genoma de los cultivos, en el de los humanos y en los de todos los organismos. Es más, con frecuencia introducen genes de otras especies al mismo tiempo que el suyo, razón por la que nuestro genoma se halla repleto de secuencias procedentes de virus y especies no humanas. «Cuando los críticos afirman que en la naturaleza los genes no saltan la barrera que media entre las especies, no demuestran más que simple ignorancia», señala Alan McHughen, especialista en genética molecular de plantas de la Universidad de California en Riverside. El pulgón del guisante posee genes procedentes de hongos. El triticale es un híbrido de trigo y centeno que cuenta más de un siglo de antigüedad y que se emplea en algunas harinas y cereales para el desayuno. Y el propio trigo procede de la hibridación de varias especies.

Al ingerir un alimento transgénico, ¿podría su ADN acabar en nuestro genoma? Aunque en teoría es posible, resulta extremadamente improbable. Hasta ahora, nadie ha encontrado ningún material genético capaz de sobrevivir a un viaje a través del intestino humano e introducirse en las células. Pero, además, nos hallamos constantemente expuestos a los mismos virus y bacterias cuyos genes se han incorporado a los alimentos modificados. E incluso los ingerimos: la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que produce ciertas proteínas tóxicas para los insectos (y cuyos genes incorpora el maíz modificado MON 810), se usa como plaguicida en agricultura ecológica. «Hemos estado comiendo esos genes durante miles de años», abunda Goldberg.

Los partidarios de los CMG insisten en que durante las últimas décadas se han consumido billones de comidas con ingredientes transgénicos y que, hasta ahora, nadie ha detectado ni un solo problema sanitario atribuible a la técnica. Mark Lynas, destacado activista antitransgénicos que el año pasado cambió públicamente de parecer, ha señalado que todos los desastres alimentarios de los que hemos tenido noticia hasta hoy se han debido a alimentos no modificados genéticamente. Así ocurrió con el brote de *Escherichia coli* que estalló en 2011 en Alemania y Francia y que provocó la muerte de 53 personas; al final, el origen de la infección se localizó en semillas de fenogreco procedentes de la agricultura ecológica.

Con frecuencia, quienes critican los CMG menosprecian las investigaciones sobre su seguridad que se realizan en EE.UU., ya que a menudo estas son financiadas o llevadas a cabo por empresas del sector, como Monsanto. Sin embargo, una gran cantidad de estudios provienen de la Comisión Europea, el órgano administrativo de la UE, a quien no puede acusarse tan fácilmente de ser una herramienta de la industria. La Comisión Europea ha financiado 130 proyectos sobre la seguridad de los cultivos transgénicos, los cuales han sido llevados a cabo por más de 500 grupos de investigación independientes. Ninguno de ellos ha encontrado ningún riesgo asociado a la técnica.

Un gran número de otros equipos merecedores de crédito han llegado a la misma conclusión. Gregory Jaffe, director de biotecnología en el Centro para la Ciencia en el Interés Público, una organización sin ánimo de lucro orientada hacia la defensa de los consumidores, intenta dejar muy claro que su centro no mantiene ninguna postura oficial a favor o en contra de los alimentos transgénicos. Sin embargo, insiste en que su historial científico no deja lugar a dudas: «Los cultivos transgénicos actuales son seguros para comer y su plantación no entraña riesgos para el entorno». La Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, la Asociación Médica Americana y la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. respaldan sin reservas los CMG. La Agencia Federal de Fármacos y Alimentos de EE.UU. (FDA), junto con sus homólogos de otros países, ha revisado en varias ocasiones grandes cantidades de estudios y ha concluido que los transgénicos no constituyen ninguna amenaza para la salud. Docenas de estudios de revisión realizados por investigadores académicos han llegado al mismo resultado.

Los detractores llaman la atención sobre un puñado de estudios que han revelado posibles problemas. Sin embargo, casi todos ellos han sido refutados por otros investigadores. En 1998, el bioquímico de plantas Árpád Pusztai, del Instituto Rowett, en Escocia, halló que las ratas alimentadas con cierta patata transgénica sufrían retrasos en el crecimiento y cambios relacionados con el sistema inmunitario. Pero aquella patata no estaba destinada al consumo humano: de hecho, había sido diseñada para que resultase tóxica porque así lo requerían ciertas investigaciones científicas. El Instituto Rowett consideró el experimento de Pusztai tan poco esmerado que acabó acusando al científico de mala práctica.

Abundan las historias similares. El año pasado, Gilles-Éric Séralini, de la Universidad de Caen de Baja Normandía, y sus colaboradores hallaron que un grupo de ratas que habían estado alimentándose con una variedad común de maíz modificado genéticamente desarrollaron tumores a un ritmo alarmante. Séralini es desde hace tiempo un conocido activista antitransgénicos. Enseguida se alzaron voces que criticaron que su estudio se basaba en una raza de rata conocida por su propensión a desarrollar tumores, que no había empleado un número suficiente de animales, que el grupo de control no era adecuado y que el artículo omitía numerosos detalles del experimento; entre ellos, el método de análisis de datos. Tras revisar el estudio, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria rechazó sus resultados. Otros organismos europeos llegaron a la misma conclusión. «Si el maíz modificado fuera tan tóxico, alguien a estas alturas ya se habría dado cuenta», asegura McHughen.

Algunos científicos sostienen que las objeciones a los CMG no tienen un origen científico, sino político, motivadas por la enorme influencia de las grandes multinacionales alimentarias. Invocar riesgos alimentarios no sería más que un recurso muy efectivo para azuzar a las masas contra la agroindustria. «Pero eso no tiene nada que ver con la ciencia. Es ideología», añade Goldberg. El exactivista antitransgénicos Lynas se muestra de acuerdo: hace poco, calificó a los movimientos antitransgénicos como «explícitamente anticientíficos».

DUDAS PERSISTENTES

Pero no todas las objeciones a los alimentos modificados pueden rechazarse con tanta facilidad. Los efectos a largo plazo sobre la salud podrían ser sutiles y casi imposibles de vincular a cambios concretos en nuestro entorno. Los expertos creen desde hace tiempo que ciertas enfermedades, como el alzhéimer y diversos tipos de cáncer, dependen en parte de factores ambientales. Pero pocos podrán argumentar que hemos identificado todos ellos.

Otros críticos sostienen que el hecho de que la transgénesis altere solo un pequeño número de genes muy concretos no constituye una razón para afirmar que dicha técnica sea más segura

que las tradicionales. David Schubert, experto en alzhéimer y director del Laboratorio de Neurobiología Celular del Instituto Salk de Estudios Biológicos en La Jolla, explica que incluso un solo gen puede instalarse en el genoma de la planta de diversas maneras: «Puede moverse hacia delante, hacia atrás, a distintos lugares, copiarse varias veces y en cada una de ellas comportarse de modo distinto». Williams observa que, con frecuencia, un genoma continúa cambiando incluso varias generaciones después de la inserción, por lo que puede adoptar una configuración diferente de la que se deseaba en un principio. Y añade que también existe la mutagénesis por inserción, un fenómeno por el que el gen añadido inhibe a sus vecinos.

Es cierto que la transgénesis afecta a menos genes que las técnicas de mejora tradicionales. No obstante, algunos argumentan que, dado que el intercambio o la alteración de grandes paquetes de genes viene ocurriendo en la naturaleza desde hace quinientos millones de años, se trataría de un fenómeno menos propenso a dar sorpresas. Modificar un solo gen, sin embargo, podría desencadenar un efecto dominó inesperado que incluyese la producción de proteínas tóxicas o alergénicas.

Otros críticos señalan que la clase de alteraciones causadas por la inserción de genes de otras especies podría ejercer un impacto mayor, más complejo y sutil que el causado por las técnicas tradicionales. Y que, solo porque hasta ahora no haya pruebas de que el material genético de un cultivo alterado pueda introducirse en el genoma de quienes lo ingieren, ello no significa que en el futuro no vaya a ocurrir tal cosa (o que ya haya sucedido pero nadie lo haya advertido). Tales cambios pueden ser difíciles de identificar, y su impacto en la producción de proteínas bien podría burlar las pruebas. «Por supuesto que vamos a detectarlos si la consecuencia es que la planta no crece bien», dice Williams. «Pero ¿vamos a saber verlo si el resultado consiste en la síntesis de proteínas que ejercen efectos a largo plazo sobre la salud de quienes ingieren la planta?»

Al margen de las cuestiones puramente técnicas, numerosos expertos favorables a la adopción de CMG se muestran excesivamente duros —e incluso acientíficos— a la hora de responder a las críticas. En ocasiones equiparan a todo aquel que plantee cuestiones de seguridad con activistas e investigadores desacreditados. Incluso Séralini, el científico que el año pasado halló tasas elevadas de cáncer en ratas alimentadas con maíz transgénico, tiene sus defensores. Es cierto que la mayoría de ellos no son científicos, no investigan en biología o son miembros eméritos de instituciones poco transparentes. Pero otros, como Schubert, insisten en que el estudio de Séralini fue injustamente difamado. Como experto en seguridad de fármacos, Schubert afirma conocer bien los estándares de calidad de las investigaciones sobre toxicología animal y mantiene que el trabajo de Séralini los pasaba. Insiste en que la raza de rata empleada en su estudio se usa con frecuencia en esa clase de ensayos, que normalmente el número de animales no es mayor que el escogido por Séralini, que su metodología era estándar y que, a la vista de lo impactante de los resultados, los detalles concretos del análisis resultaban irrelevantes.

Schubert y Williams pertenecen al pequeño grupo de investigadores de instituciones de prestigio que se muestran dispuestos a desafiar a la mayoría dominante. Pero, según ellos, habría más científicos críticos si cuestionar los transgénicos no implicase un escarnio sistemático en revistas especializadas y medios de comunicación. Tales ataques, aseguran, están motivados por el temor a que airear dudas semejantes se traduzca en un recorte de fondos: «Ya sea de manera consciente o no, están interesados en promover su disciplina, por lo que no son objetivos», señala Williams.

Ambos científicos relatan que, cuando han publicado en revistas de prestigio comentarios críticos sobre la seguridad de los transgénicos, han recibido todo tipo de ataques coordinados contra su reputación. Schubert llega a afirmar que el temor a tales repercusiones induce a algunos investigadores a no publicar hallazgos que pudieran suscitar cuestiones de seguridad. Si un experimento no arroja los resultados que supuestamente debería, el investigador es «apaleado», asegura.

Hay datos para apoyar esa acusación. En 2009, la revista *Nature* cubrió la reacción de la comunidad ante un estudio de solidez razonable que había sido publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences* por investigadores de la Universidad Loyola de Chicago y la Universidad de Notre Dame. El trabajo mostraba que el maíz transgénico parecía haber llegado desde las plantaciones hasta arroyos cercanos, donde podría suponer un riesgo para algunos insectos. Según los experimentos de los autores, las frigáneas parecían no tolerar bien una dieta basada en polen de maíz transgénico. Numerosos científicos atacaron de inmediato el estudio. Algunos incluso llegaron a sugerir que los autores habían descuidado la metodología hasta el punto de rozar la mala práctica científica.

SALIR DEL ATOLLADERO

Todo este debate admite un término medio. Numerosas voces moderadas piden que se sigan distribuyendo CMG, pero que se mantengan o incluso se intensifiquen los controles de seguridad de los nuevos cultivos. Quienes defienden esta postura abogan por mantener una estrecha vigilancia sobre la salud y el impacto ambiental de los cultivos transgénicos ya existentes. Sin embargo, no apuntan en exclusiva a los CMG. Jaffe insiste en que todas las variedades deberían someterse a un mayor escrutinio: «Tendríamos que supervisar mejor toda la alimentación», defiende.

Incluso Schubert está de acuerdo. A pesar de sus reservas acerca de los transgénicos, considera que sí debería ser posible introducir nuevas variedades si las pruebas mejorasen. «El noventa por ciento de los científicos con quienes hablo dan por sentado que las plantas transgénicas se someten a los mismos controles que los medicamentos aprobados por la FDA», señala. «Y no es así en absoluto. Pero debería serlo.»

McHughen opone que efectuar pruebas aún más exhaustivas cargaría de trabajo a los investigadores y retrasaría la introducción de nuevos cultivos: «Si los cultivos tradicionales se sometiesen a los mismos controles de seguridad que hoy se aplican a las variedades transgénicas, la mayoría de ellos no habría llegado nunca al mercado. ¿Qué pasará si comenzamos a efectuar exámenes más estrictos?», plantea.

Es una buena pregunta. Pero ante unos Gobiernos y unos consumidores cada vez más beligerantes contra los transgénicos de cualquier clase, realizar pruebas adicionales tal vez proporcione el compromiso necesario para que la humanidad pueda acabar beneficiándose de las grandes ventajas de dichos cultivos.

PARA SABER MÁS

Food, Inc.: Mendel to Monsanto. The promises and perils of the biotech harvest. Peter Pringle. Simon & Schuster, 2003.

Tough lessons from golden rice. Martin Enserink en *Science*, vol. 320, págs. 468-471, abril de 2008.

Case studies: A hard look at GM crops. Natasha Gilbert en *Nature*, vol. 497, págs. 24-26, mayo, 2013. **www.nature.com/news/case-studies-a-hardlook-at-gm-crops-1.12907**

AGRICULTURA

Un ensayo agrícola a gran escala

China está empleando la modelización ecosistémica para rediseñar su sistema de cultivos. Los resultados de estas investigaciones podrían aplicarse a otros países

Fusuo Zhang, Xinping Chen y Peter Vitousek

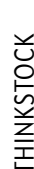
Durante las dos últimas décadas, los medios de comunicación han proclamado que los cultivos transgénicos representarían la solución mágica que resolvería la crisis alimentaria mundial. Pero para incrementar las cosechas con el fin de alimentar a una población mundial en constante crecimiento y cada vez más opulenta —sin degradar más los suelos, destruir los hábitats naturales y contaminar aire y agua— será necesaria una aproximación global.

China está dando pasos hacia tal estrategia, de modo que ofrece un laboratorio extraordinario para el resto del mundo. En el período 2003-2011, el país aumentó la producción de cereales en un 32 por ciento (más del doble de la media mundial), en gran parte mediante la mejora del rendimiento de las explotaciones menos eficientes. Pero en las dos próximas décadas se necesitará del 30 al 50 por ciento más de alimento para cubrir la demanda prevista del país. En China la superficie cultivable aún sin explotar escasea, mientras que las restricciones de agua están alcanzando niveles críticos en algunas regiones. A ello hay que añadir el abonado excesivo de las

CAMPOS EN TERRAZAS EN CHINA, donde los investigadores someten especies agrícolas a condiciones cercanas a sus límites biofísicos.

tierras, una de las principales causas de la contaminación atmosférica (que a su vez constituye un factor de riesgo importante de mortalidad, con cientos de miles de muertes prematuras cada año). El empleo abusivo de fertilizantes provoca, asimismo, que numerosos lagos, ríos y regiones costeras experimenten floraciones algales, especialmente en el sur de China.

Animados por una urgente necesidad de producir más alimento y reducir a la vez el impacto ambiental de la agricultura (y con dinero gubernamental disponible), los científicos chinos están intentando llevar los cultivos hasta cerca de sus límites biofísicos de productividad. Creemos que para obtener los mayores rendimientos con los mínimos costes económicos y ambientales, los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo deben dirigir la mirada a China para asesorarse sobre cómo integrar investigaciones fundamentales diversas, entre ellas la ingeniería genética, con enfoques experimentales y modelización.



TIERRAS FÉRTILES

En los Estados Unidos hay poco más de media hectárea de tierra cultivada por persona. En China, cada uno de los 1300 millones de habitantes dispone solo de la décima parte de una hectárea. Más del 90 por ciento de los 230 millones de explotaciones agrícolas del país son minúsculas; una finca típica de las llanuras del norte mide unos 7 metros de ancho y 160 metros de largo. Los dueños de estos cultivos suelen tener otros trabajos en los pueblos o ciudades cercanos; debido al reducido tamaño del terreno, no suele resultarles rentable invertir en maquinaria agrícola o en gestión de las plantas o del suelo durante todo el año. Al mismo tiempo, el aprovechamiento continuado de los cultivos ha empobrecido los suelos de su reserva natural de nutrientes, mientras que el abonado excesivo los ha acidificado. En conjunto, menos del 50 por ciento de los abonos aplicados a los campos llega a las plantas; gran parte del resto es lixiviado al ambiente, según publicó uno de nosotros (Zhang),

en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* en 2009.

A la vista de tales retos, los científicos chinos están intentando mejorar las cosechas de los cereales básicos del país (maíz, arroz y trigo) mediante un enfoque que considera las explotaciones como ecosistemas. En parcelas experimentales y en estudios de campo, llevan a cabo el seguimiento de las entradas y salidas de agua, nutrientes, material genético, energía solar y fósil, y energía muscular de humanos y animales. A partir del análisis químico del agua de lluvia y de riego, y la supervisión de la cantidad de fertilizante o estiércol añadido, calculan la cantidad y tipos de nutrientes que entran en el sistema. Mediante la manipulación de las condiciones y métodos en parcelas experimentales replicadas, y tras hacer el seguimiento de dichas parcelas a lo largo de años, se intenta optimizar las diversas entradas y salidas para obtener el mayor rendimiento con los mínimos recursos y la menor pérdida de nutrientes. De este modo, en un proyecto en el que participaban 16 universidades e institutos, dirigido por la Universidad Agrícola de China en Pekín, los investigadores han estudiado el crecimiento de trigo, maíz y arroz durante los últimos 5 años en casi 500 parcelas de 11 provincias. Hasta ahora, han logrado aumentar entre un 30 y un 50 por ciento la cosecha y la eficiencia con la que los cultivos aprovechan el nitrógeno en esas parcelas.

El desarrollo de nuevas variedades e híbridos vegetales constituye una de las diversas áreas de investigación fundamental que contribuye a esta aproximación. En este sentido, la tecnología transgénica se ha convertido en los últimos años en un elemento cada vez más importante. Así, con el empleo del algodón *Bt* (el primer cultivo transgénico aprobado para su uso comercial en China), los agricultores han aumentado las cosechas en casi el 6 por ciento y han reducido el uso de insecticidas en un 80 por ciento desde 1997. Aunque la población china desconfía de las plantas transgénicas, en 2008 el Gobierno central del país estableció un programa de investigación y desarrollo de especies agrícolas transgénicas, de 12 años de duración y un coste de 25.000 millones de yuanes (3000 millones de euros). Con una financiación equivalente de los Gobiernos provinciales, el programa incluye los cultivos básicos en China.

También se están investigando otros aspectos, como el modo en que se reparte el agua, los nutrientes y la energía solar en la planta para producir hojas, tallos y grano; el efecto de la estructura y la química del suelo en las raíces; y la influencia de los procesos biológicos, químicos y geológicos en las propiedades del suelo. Tales trabajos aportan indicios acerca de la mejor época para abonar, o de las fechas y densidades de plantación que optimizarán el uso de agua y de energía solar. De este modo, los estudios recientes sobre la gestión de los nutrientes en la zona radicular, realizados en más de 5000 parcelas experimentales de 20 provincias, permitieron a un grupo dirigido por la Universidad Agrícola de China aumentar las cosechas un 12 por ciento de promedio a lo largo de un período de 7 años. El esfuerzo redujo, asimismo, un 24 por ciento el empleo de abonos.

Fusuo Zhang dirige el Centro de Recursos, Ambiente y Seguridad Alimentaria de la Universidad Agrícola de China en Pekín.

Xinping Chen es profesor del Centro de Recursos, Ambiente y Seguridad Alimentaria de la Universidad Agrícola de China en Pekín.

Peter Vitousek es profesor del departamento de biología de la Universidad Stanford en California.

Para integrar toda la información relevante y extraer resultados que se puedan aplicar a las diversas regiones agrícolas de China (desde el sur subtropical y húmedo hasta las llanuras del norte y el nordeste más frío), los científicos están introduciendo en modelos datos sobre el clima, condiciones edáficas, recursos hídricos y su variabilidad. Las variedades genéticas y los sistemas de gestión «óptimos» seleccionados a partir de la modelización son evaluados midiendo varios parámetros, tales como el crecimiento de las plantas y su absorción de nutrientes, en parcelas experimentales o en estudios de campo. Estas medidas pueden utilizarse entonces para mejorar los modelos, que a su vez se emplean para seguir aumentando las cosechas.

China no es el primer país que usa la estrategia de modelización ecosistémica. En Europa y en los Estados Unidos, donde el método se desarrolló por primera vez, agricultores e investigadores lo utilizan sobre todo para realizar ajustes en las prácticas ya establecidas. Los científicos chinos, en cambio, integran los modelos y los experimentos con redes de seguimiento nacionales para rediseñar los sistemas agrícolas a gran escala.

DEMOSTRAR EL ÉXITO

Al trasladar a las explotaciones agrícolas lo que han descubierto en las parcelas experimentales, los científicos han logrado reducir el consumo de abonos a un nivel óptimo, desde el punto de vista económico, al tiempo que se mantiene la producción. En un estudio basado en 49 experimentos de campo en cultivos de las llanuras del norte de China y en la región de Taihu, los investigadores de diversas instituciones consiguieron disminuir del 30 al 60 por ciento la cantidad de abono aplicado entre 2003 y 2006, sin hacer menguar la cosecha de arroz, trigo o maíz. (Dicho estudio confirmaba algunas de las investigaciones sobre abonado eficiente ya mencionadas.) La modelización ecosisté-

EN SÍNTESIS

Para alimentar a una población mundial en constante crecimiento deberá aumentarse la producción de los cultivos, con lo que resultará necesario emprender una estrategia global a gran escala.

Los científicos chinos están intentando mejorar las cosechas de los cereales básicos del país al considerar las explotaciones agrícolas como ecosistemas. Los estudios realizados en parcelas experimentales informan sobre la mejor época y forma de abonar, o sobre las fechas y densidades de plantación que optimizarán el uso de agua y de energía solar. También se impulsa el desarrollo de variedades vegetales transgénicas más eficientes.

El enfoque experimental y la modelización en que se basan los agrónomos chinos representa un ejemplo en el que podría basarse el resto del mundo para aumentar el rendimiento agrícola con los menores daños ambientales.

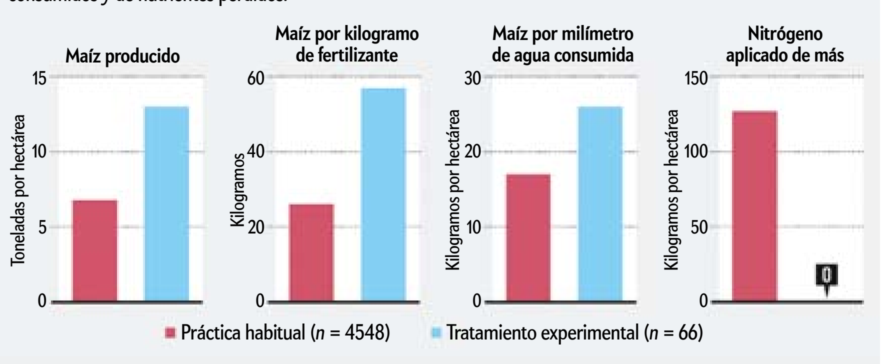
LA MAYORÍA de las explotaciones agrícolas chinas son minúsculas, lo que hace difícil aumentar las cosechas al tiempo que se reducen los daños ambientales.



mica ha aportado otros resultados también prometedores.

Para conseguir su objetivo de aumentar la producción entre el 30 y 50 por ciento a escala nacional, el Gobierno chino ha más que triplicado su inversión en investigación agrícola desde 2000, que ha pasado de 7000 millones de yuanes a 24.400 millones en 2009 (o del 0,36 al 0,66 por ciento del producto interior bruto). Y, desde 2008, ha destinado 3000 millones de yuanes anuales a una red nacional de organizaciones para el desarrollo de la tecnología agrícola moderna en la que, en su inicio, participaban 50 universidades, 340 institutos, 200 compañías y más de 2000 científicos.

Aun así, sigue siendo un reto enorme transferir los resultados de las investigaciones a las prácticas agrícolas en tantísimos minifundios. Para promover la transmisión de conocimiento y tecnología, el Gobierno chino financia más de 12.000 demostraciones realizadas por investigadores en las que se enseñan métodos de gestión de cultivos y suelos en todo el país. También ha establecido diversos programas y subvenciones. El año pasado invirtió 1500 millones de yuanes para pagar análisis de suelos y poder indicar a los agricultores la cantidad de abono que debían aplicar y el momento de hacerlo.



MÁS CON MENOS
Mediante diseños agrícolas basados en los resultados de la modelización, los investigadores chinos aumentan la producción en parcelas experimentales y en estudios de campo a la vez que reducen la cantidad de recursos consumidos y de nutrientes perdidos.

La investigación agrícola china ha de tener en cuenta los extraordinarios cambios sociales que ocurren en el país, así como el aumento en la demanda de alimentos, recursos y protección ambiental. Al tiempo que millones de personas emigran a ciudades como Shanghái, Pekín y Guangzhou para encontrar trabajo, las zonas rurales más importantes del norte y el sur tendrán que habérselas cada vez más con escasez de mano de obra. Las parcelas podrían combinarse para que una misma persona gestionara varias hectáreas. Asimismo, si la población continúa comiendo cada vez más carne y productos lácteos, las importaciones de piensos seguirán ascendiendo —en 2012, casi el 80 por ciento de las semillas de soja empleadas en el país (58,4 millones de toneladas) eran importadas.

El sistema agrícola chino, con millones de explotaciones minúsculas, es único. Pero el alcance, la calidad y la trayectoria de la investigación agrícola en esa nación, junto con su buena disposición y la necesidad de resolver retos ambientales fundamentales, debería empujar a otros países en vías de desarrollo, como la India o Bangladés, a buscar el consejo de los investigadores y sistemas chinos. Los agricultores de Europa, Norteamérica, Nueva Zelanda y Australia pueden aprender también del enfoque de China. Ante el cambio climático, conseguir que los cultivos rindan al límite al tiempo que se ahorran recursos y se reducen los daños ambientales representa un objetivo crucial para todos.

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 497, págs. 33-35, 2013.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2013

PARA SABER MÁS

Transgenic varieties and productivity of smallholder cotton farmers in China. J. Huang et al. en *The Australian Journal of Agricultural Resource Economics*, vol. 46, págs. 367-387, 2002.
Agriculture: Is China ready for GM rice? J. Qiu en *Nature*, vol. 455, págs. 850-852, 2008.
Significant acidification in major Chinese croplands. J. H. Guo et al. en *Science*, vol. 327, págs. 1008-1010, 2010.
Integrated nutrient management for food security and environmental quality in China. F. Zhang, et al. *Advances in Agronomy*, vol. 116, págs. 1-40, 2012.
Anuario estadístico de la FAO 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **go.nature.com/nfmwxx**.
Enhanced nitrogen deposition over China. X. Liu et al. en *Nature*, vol. 494, págs. 459-463, 2013.

WIKIMEDIA COMMONS/CORTO MALTESE 1999/CC BY SA 2.0 (*agricultores*); FUENTE: «INTEGRATED SOIL-CROP SYSTEM MANAGEMENT FOR FOOD SECURITY», X. P. CHEN ET AL. EN *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, VOL. 108, PÁGS. 6399-6404, 2011 (*gráfica*).

por Marc Boada Ferrer

Marc Boada Ferrer es divulgador científico y experto en ciencia experimental.



La cámara Schlieren: ver lo invisible

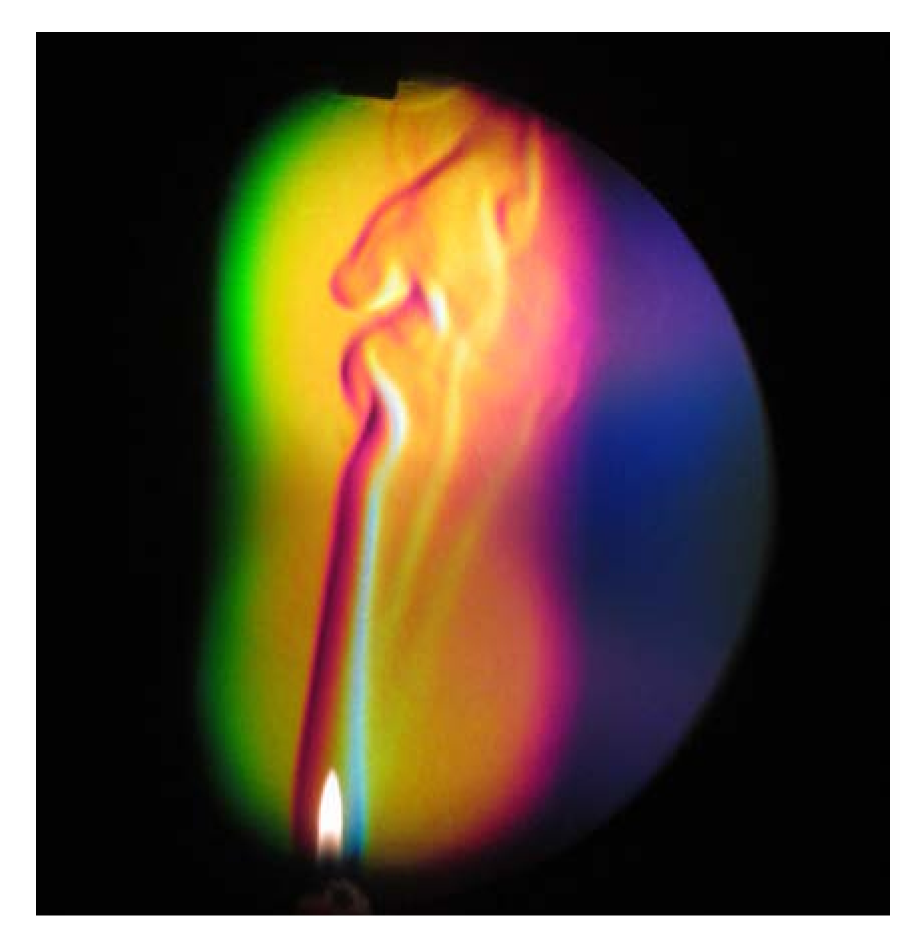
Un sencillo arreglo de espejos permite visualizar el comportamiento interno de un gran número de sustancias transparentes

¿Cuántas veces hemos recurrido a experimentos sencillos, pero esclarecedores, para ejemplificar un fenómeno? Una vela permite explicar las intimidades de la combustión, como hizo Faraday. Mediante una pila de petaca, agua, sal común y poco más podemos adentrarnos en un mundo tan extenso como el de la electrólisis. Incluso un modesto terrón de azúcar deshaciéndose en agua y desapareciendo ante los concurrentes ilustra los procesos de disolución que podemos encontrar en todos los ámbitos de la biosfera. Lástima que las intimidades de estos fenómenos permanezcan ocultas a los espectadores.

Tomemos el ejemplo de la desaparición del humilde terrón azucarado. Suspendamos uno, atado a un fino hilo, en la superficie libre de un vaso de agua y esperemos a que se desvanezca. Observaremos que el líquido permanece en todo momento límpido e inmóvil. Sin embargo, estimado lector, la realidad es muy distinta. Tras la aparente quietud del medio se oculta un activo movimiento de las partículas del fluido. Al disolverse el edulcorante, la densidad del fluido aumenta, con lo que aparece un flujo descendente de agua cargada de azúcar. Al tocar el fondo, el denso líquido forma una nube toroidal, suavemente turbulenta, que desaparece por mezcla con el resto de la disolución. Mediante el modo de observación adecuado, el espectáculo científico se manifiesta en toda su grandeza y más todavía, pues se ve animado por perturbaciones térmicas, vibraciones y movimientos del propio terrón.

La cámara Schlieren que hoy nos ocupa permite observar todo ello basándose en un interesante fenómeno: el índice de refracción de un medio transparente varía —de forma perceptible— con la densidad. Hablando más genéricamente, diríamos que las regiones del medio sujetas a pequeñas variaciones de temperatura, composición, presión o espesor producirán una refracción distinta de la causada por las zonas no perturbadas. August Toepler, hábil experimentador, desarrolló la cámara Schlieren alrededor de 1860 con el objetivo de verificar la calidad de lentes y otros componentes ópticos. (Recibe este nombre, no porque alguien con ese apellido fuera su inventor, sino porque en alemán *Schlieren* significa rayas o estrías.)

En esencia, el aparato consiste en una fuente de luz puntual situada en el foco de un espejo parabólico de tal forma que este produce un haz cilíndrico de rayos paralelos que atraviesan el material que se quiere examinar. Luego, estos son colectados por otro espejo parabólico que los focaliza en la zona de observación.



TURBULENCIAS ASCENDENTES generadas por el calor de la llama de una vela. La colocación de una red de difracción ante la fuente de luz permite obtener esta imagen Schlieren en color.

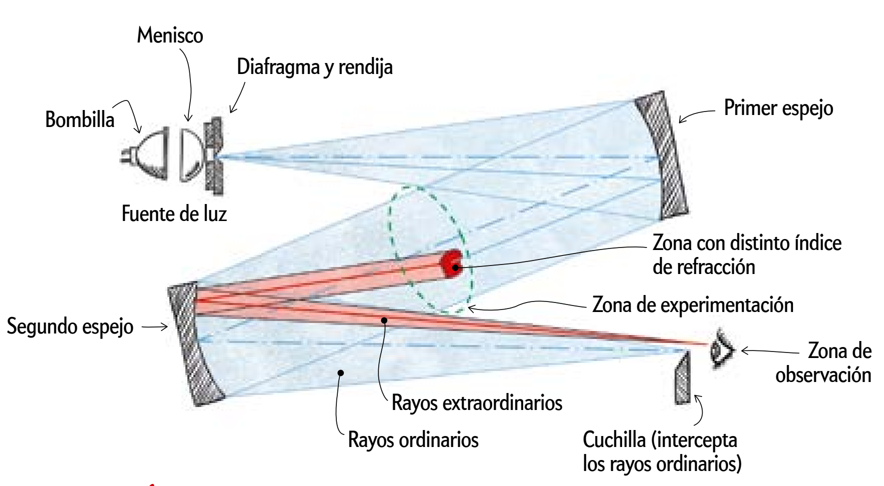
MARC BOADA

Al situar una pantalla de proyección en este punto, observaremos una pequeña y brillante mancha iluminada: la imagen de la fuente de luz puntual. Si alejamos la pantalla, aparecerá una gran mancha circular de luz. Ahora alojemos entre los dos reflectores un cabo de vela encendido; en la proyección observaremos la llama y cómo de esta escapan turbulencias ascendentes. La imagen recuerda vivamente lo que podemos ver sobre el techo de un coche expuesto al sol.

En realidad hay muchas figuras «Schlieren» en la naturaleza: bajo el mar, una surgencia de agua dulce produce imágenes agitadas; algo parecido se observa en el asfalto calentado por el sol veraniego; también en determinadas circunstancias, el borde de una ala de avión o un proyectil en vuelo deforma las imágenes de lo que tiene detrás; y también la disolución del azúcar puede observarse si logramos una iluminación y un fondo adecuados. [*Véase* «Toma ultrarrápida de imágenes de ondas de choque, explosiones y disparos», por Gary S. Settles; Investigación y Ciencia, mayo de 2006.]

Tanto esas imágenes como la mancha de la vela que estábamos proyectando son producidas por los rayos que han atravesado el medio óptico. Los hay de dos tipos: los ordinarios, que a partir de la fuente han llegado a la pantalla sin sufrir desviación alguna, y los extraordinarios, que han atravesado zonas más calientes (en el caso de la vela) y presentan, por tanto, un índice de refracción distinto. Si en el foco del segundo espejo se coloca una placa opaca en forma de cuchilla que intercepte los rayos ordinarios (al no ser desviados por las inhomogeneidades del medio van a parar al foco), lo que llegará al observador son los rayos extraordinarios (perturbados), los cuales ofrecen una imagen de las perturbaciones. Es como si obtuviéramos una imagen directa del fenómeno térmico, químico o mecánico que se está dando en el medio. En este sentido, la cámara Schlieren puede englobarse en los sistemas de iluminación de campo oscuro, que aumentan el contraste de la imagen que se quiere estudiar mediante el oscurecimiento de la parte que no interesa.

Puede construirse una cámara Schlieren con poco más que un taladro y grandes dosis de paciencia, que dedicaremos sobre todo a las fases de colimación de los elementos ópticos, observación y registro fotográfico. Pese a que pueden pergeñarse cámaras que utilizan dos lentes convergentes en substitución de los espejos, resulta preferible el uso de estos, puesto que de común son más fáciles de localizar en tamaños grandes, lo que nos permite contar con un campo de observación mucho mayor. En cualquier caso, la obtención de estas ópticas constituye un escollo importante, ya que su precio puede ser elevado. Una opción práctica consiste en tomar en préstamo por pocos días el espejo de un telescopio —en este sentido, la colaboración de un amigo aficionado a la astronomía puede ser la opción más cómoda—. En mi caso utilicé dos espejos parabólicos de 200 milímetros de diámetro y 800 milímetros de distancia focal, provenientes de un telescopio astronómico binocular, de uso tan incómodo que permanecía arrinconado en el fondo del laboratorio. El tamaño de los espejos o lentes que hayamos localizado condicionará las dimensiones del instrumento.



ESQUEMA ÓPTICO en planta.

Pasaremos luego a construir el banco óptico sobre el que vamos a situar los subconjuntos. Consiste este en una base sólida y estable, idealmente de mármol o acero, perfectamente plana. Pero también podemos pasar con mucho menos, siempre y cuando la estructura sea bien rígida. Una caja de madera configurada a partir de un marco de listón de pino de siete u ocho centímetros con las caras superior e inferior forradas con tablero de fibras de dos o tres centímetros de espesor será suficiente. En la cara inferior abriremos una gran ventana que nos permitirá atornillar los componentes desde abajo. Su longitud en planta debe ser superior a la distancia focal de los espejos, 30 o 40 centímetros más bastarán. En cuanto a su ancho, deberemos buscar un compromiso razonable entre diversos factores. Por un lado, interesa que los rayos de luz incidan tan perpendicularmente como sea posible sobre los espejos, ya que así se minimiza el tamaño de todo el aparato y el escorzo óptico (de lo contrario, los espejos se muestran elípticos, ya que no se orientan plenamente «de cara» hacia el observador y forman cierto ángulo con este). Pero si reducimos demasiado el ángulo entre el eje óptico incidente y el reflejado en cada espejo (lo que equivaldría a achatar la «Z» que forman los haces de luz), al final casi no queda espacio para el objeto que queremos observar. Una buena anchura para el aparato será, por tanto, unas tres veces y media el diámetro de un espejo. Una vez construido el banco, dibujaremos en su superficie el esquema óptico, a escala real y con la máxima exactitud.

Llega ahora el momento de construir los dos soportes de los espejos. Observemos que para conseguir una alineación óptica perfecta solo necesitamos que el espejo haga tres tipos de movimiento: desplazamiento adelante y atrás sobre el eje óptico, rotación sobre la base para apuntar hacia el siguiente elemento y una pequeña regulación en la verticalidad de la superficie óptica que nos permita mantener el eje horizontal o paralelo al banco. Todo ello puede conseguirse con un par de discos de aglomerado recubiertos de melamina entre los que se interpone una lámina de cualquier material plástico ligeramente untado con vaselina y absolutamente libre de polvo. Estos dos discos giran sobre un eje común, constituido por un tornillo que los atraviesa, bastante largo para atravesar también la cara superior del banco óptico. En este habremos perforado un amplio taladro, de dos o tres centímetros de diámetro, que nos dará el juego necesario para posicionar el espejo a las distancias convenientes de los otros elementos ópticos.

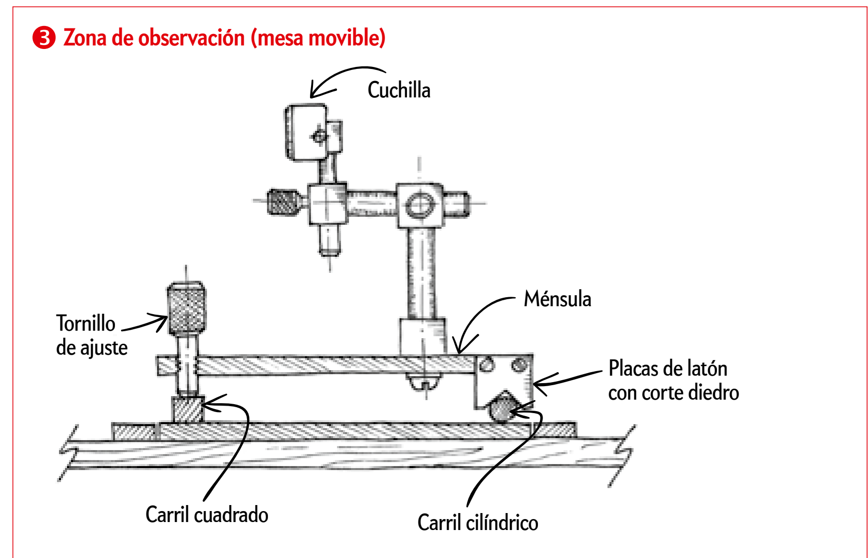
Bombilla halógena 20 vatios 18 grados
Menisco
Diafragma Ø 8 mm
Rendija

❶ Fuente de luz

Tornillos de regulación
12 voltios 20 vatios
Eje óptico
Segundo espejo Ø 200 mm DF 800 mm
Primer espejo Ø 200 mm DF 800 mm
Base de madera
Soporte ajustable

❷ Fijación de los espejos

Grapa
90º
Cilindros (topes)



❸ Zona de observación (mesa movible)

En el disco superior atornillaremos una pieza vertical, reforzada con escuadras o listones para garantizar que se mantenga en posición bajo el peso, a veces notable, de los espejos (los objetivos de telescopio y, en general, los componentes ópticos de gran tamaño y precisión, suelen ser muy gruesos y, por tanto, muy pesados). Ese mismo peso que pone a prueba la rigidez del instrumento hace que sea fácil mantenerlo en posición. Para instalar los espejos en esta pieza vertical solo tenemos que fijar dos cilindros horizontales a modo de topes. A su espalda, en la pieza vertical, incrustaremos una tuerca de forma que podamos introducir un tornillo desde atrás e inclinar más o menos la superficie óptica. Remataremos el conjunto con una grapa que fijará el espejo al soporte, garantizando así su seguridad: una chapa de aluminio de pocas décimas de espesor, que cortaremos y doblaremos en forma de L. Luego la revestiremos con terciopelo autoadhesivo, para que no pueda rallar la delicada superficie óptica.

Pasaremos ahora a la fuente de luz, que debe ser razonablemente puntual. Tomaremos una bombilla halógena con reflector, de unos 20 o 30 vatios de potencia, y con un cono de luz reducido, de 18 grados en mi caso. El cristal frontal transparente lo convertiremos en mate frotando con un abrasivo (esmeril del grano 400 o 500 será

adecuado). Luego concentraremos su luz mediante una lupa de gran potencia (un menisco extraído de un proyector de diapositivas rinde un excelente servicio). Por fin, en el foco de la lupa dispondremos un diafragma y, sobre este, una rendija angosta por donde escapará la luz, dirigiéndose al primer espejo.

La rendija demanda una atenta realización. Tomemos dos trozos cuadrados de chapa de latón de un milímetro de espesor y un par de centímetros de arista. Pongamos uno de sus delgados cantos sobre un cristal viejo y apliquemos un poco de abrasivo bien fino, agua y una gota de jabón líquido. Frotemos haciendo pequeños círculos y en pocos minutos será perfectamente recto. Repitamos la operación pero con la chapa a 45 grados respecto del cristal, hasta esculpir por desgaste un chaflán recto y plano tan grande que la arista sea un auténtico cuchillo.

A continuación, mediante un par de tornillos, montaremos esas plaquitas sobre otra placa metálica (el diafragma) con una perforación central de 8 milímetros que pondremos ante el menisco. Podemos resolver mecánicamente este paso mediante componentes de cobre de fontanería: un retal de tubo de 52 milímetros y un par de tapones (también de cobre) que encajen en este son suficientes. Ajustaremos poco a poco la separación entre ambas plaquitas hasta que observemos entre ellas una línea iluminada, paralela y homogénea. Unas pocas micras de separación bastan para que escape luz, pero entonces la potencia luminosa es demasiado reducida. Una apertura mayor, de 300 micras, resultará óptima. Podemos verificarla con un fleje calibrado (aunque no es un aspecto crítico y puede resolverse en la fase de ajuste).

Lo mismo que la cuchilla de la zona de observación, la fuente de luz se instala en una pequeña mesa movible que podemos construir con cualquier material rígido, tablero fenólico en mi caso. La fuente debe poder realizar dos movimientos: un desplazamiento sobre el eje óptico que nos permita situarla a la distancia focal precisa (enfoque) y otro en altura para poder igualar su cota con la de los centros ópticos de los espejos. La cuchilla debe poder moverse linealmente sobre el eje óptico y también en dirección transversal, para interceptar los rayos ordinarios. Ello se consigue mediante la construcción de un carril por el que se desliza una ménsula. Lograr que esta se mueva prácticamente sin juego es relativamente fácil. Sobre el banco óptico fijamos dos varillas de latón de ocho o diez milímetros, una cuadrada y la otra cilíndrica, perfectamente paralelas y con una separación de 15 centímetros. Las fijamos con grapas de chapa bien alineadas con el esquema óptico que hemos dibujado anteriormente. Por su lado, la ménsula monta dos plaquitas de latón en las que hemos hecho un corte en diedro. Dentro de ese ángulo debe encajar la varilla cilíndrica. También sobre la ménsula realizaremos un taladro roscado, justo en la perpendicular de la varilla cuadrada. Al situar la ménsula sobre las varillas untaremos con lubricante los puntos de contacto; descubriremos que, mediante la acción sobre el tornillo, conseguimos una regulación muy precisa de su horizontalidad. Con ingenio, el experimentador podrá dotar a estos elementos de más ajustes micrométricos, de forma que pueda regularse más fácilmente su posición.

Solo faltará ya la cuchilla del punto de observación, que fabricaremos mediante el mismo proceso y con las mismas dimensiones que las de la rendija del foco de luz. Una vez terminada, la montaremos en un soporte rígido pero orientable.

Para el montaje del instrumento recomiendo proceder por aproximaciones sucesivas. Situemos los subconjuntos sobre el banco (previamente nivelado), la fuente de luz exactamente a la distancia focal de un espejo y la cuchilla en el foco del otro. Verifiquemos que ambos espejos —que no son necesariamente iguales— tienen el centro óptico exactamente a la misma altura sobre el banco. Tomemos medidas y comprobemos que el centro de la rendija y de la cuchilla también se hallan a esa altura.

Cerremos las luces del laboratorio y conectemos la fuente de luz. Dirijámosla hacia el espejo, que habremos cubierto con una hoja en blanco, y ajustemos su posición hasta que proyecte una iluminación homogénea. Acerquemos la hoja hacia la rendija. Cuando se encuentra a pocos centímetros de distancia, ¿vemos una mancha uniforme de luz? En caso negativo, reajustaremos las distancias relativas entre la bombilla, el menisco y la rendija. Actuando sobre el tornillo nivelaremos la ménsula y, con una escuadra, comprobaremos que la rendija se halla en posición perfectamente vertical.

Vayamos ahora a enfocar el primer espejo sobre el segundo, que también habremos tapado con una hoja de papel. Orientaremos el primer espejo hasta que proyecte una mancha perfectamente centrada en el segundo; tras retirar el papel que lo cubre, orientaremos este exactamente sobre el filo de la cuchilla. Lógicamente, esta deberá tener su ménsula también horizontal y su filo vertical. A continuación, repetiremos el enfoque del primer espejo sobre el segundo, ya que puede haberse desplazado.

Por fin, procederemos al enfoque, desplazando la cuchilla sobre el eje óptico hasta que la imagen en el foco sea lo más pequeña posible. Hecho esto, no está de más que revisemos si las dimensiones son las correctas (es posible que el conjunto haya quedado desplazado dentro del banco óptico). Es entonces cuando podemos poner el ojo por primera vez en el punto de observación. Previamente, actuando sobre su tornillo de ajuste, habremos situado la imagen del foco exactamente en el filo de la cuchilla y habremos alojado una vela encendida entre los espejos. La observación no es fácil: nuestra pupila debe estar pegada al filo y lo más habitual es recibir un fuerte impacto lumínico (la imagen es muy brillante). Movamos la cuchilla mediante el tornillo micrométrico, extinguiendo buena parte de la luz. Aparecerá entonces una imagen extraordinaria: la vela emitiendo vórtices de aire ascendente, en medio de remolinos y volutas.

La primera imagen suele ser muy mejorable. Quitemos la vela para proceder a un enfoque de precisión. Al actuar sobre la cuchilla, la imagen debe oscurecerse de forma gradual en todos sus puntos. Si no es así, acercaremos o alejaremos muy poco a poco la cuchilla del segundo espejo, ya que estará situada por delante o por detrás del foco. Pongamos de nuevo la vela. Al cortar los rayos ordinarios exactamente en el foco, observaremos el fondo muy oscuro, sobre el que solo destacarán las zonas calientes. Precisamente lo que buscábamos.

Lo desmontaremos todo para pintarlo en negro mate (marcando previamente su posición) y colocaremos parasoles que impidan que la luz parásita llegue hasta los componentes ópticos. Más adelante podemos sustituir nuestro ojo por una cámara fotográfica o un sistema de adquisición de imágenes que nos permita luego procesarlas.

Ha llegado el momento de disfrutar del estudio de fenómenos muy diversos: la electrolisis del sulfato de cobre, la disolución de cristales de nitrato potásico, los puntos calientes en un soldador de componentes electrónicos, la tobera de un pequeño cohete o, como en mi caso, el funcionamiento de distintos modelos de colectores solares térmicos.

por Alejandro Pérez Carballo



Alejandro Pérez Carballo es profesor de filosofía en la Universidad de Massachusetts en Amherst.

¿Cómo entender los condicionales?

Los valores de verdad en lógica y la lógica del lenguaje

Los enunciados condicionales son aquellos de la forma:

(1) Si Mariana leyó el *Quijote*, leyó también *Cien años de soledad*.

Si nos dejamos guiar por las apariencias, diríamos que (1) tiene un valor de verdad: o es verdadero o es falso. Y, al igual que

(2) Mariana leyó el *Quijote* y *Cien años de soledad*,

lo lógico sería pensar que el valor de verdad de (1) es una función del valor de verdad de los enunciados:

(*Q*) Mariana leyó el *Quijote*,
(*C*) Mariana leyó *Cien años de soledad*.

En otras palabras: conocidos los valores de verdad de (*Q*) y (*C*), podemos determinar sin ambigüedades el valor de verdad de (2). En este caso, sabemos que (2) es verdadero si y solo si (*Q*) es verdadero y (*C*) también lo es. En cualquier otro caso, (2) es falso. ¿Qué podemos decir de (1)?

El condicional material

Estipulemos que el símbolo → funciona de la siguiente manera: un enunciado de la forma $P \rightarrow Q$ es verdadero si y solo si, o bien P es falso, o bien Q es verdadero. Así, diremos que el enunciado

(3) Mariana leyó el *Quijote* → Mariana leyó *Cien años de soledad*.

es verdadero si y solo si, o bien (*Q*) es falso, o bien (*C*) es verdadero.

P	*Q*	$P \rightarrow Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

En un curso de introducción a la lógica tal vez se nos diga que (1) equivale a (3). Es decir, que el condicional «si... entonces...» en castellano se corresponde con →. Este último se denomina *condicional material*.

Sin embargo, el análisis de enunciados condicionales en términos del condicional material presenta algunas consecuencias un poco desagradables. Por ejemplo, dado que «la Luna está hecha de queso» es falso, el condicional

(4) Si la Luna está hecha de queso, entonces estoy cansado

es verdadero. Y dado que «París es la capital de Francia» es verdadero, el condicional

(5) Si Pekín no es la capital de Francia, entonces París es la capital de Francia

también es verdadero.

Sin duda, resulta muy extraño afirmar que (4) y (5) son enunciados verdaderos. Pero el problema parece aún más grave. Consideremos, por ejemplo:

(6) Si Dios existe, entonces no es cierto que, si yo rezo con devoción, mis oraciones serán ignoradas,

donde *Dios* se refiere al dios judeocristiano. Si le tomamos la palabra a Mateo 7:7-8 («Pedid y se os dará...»), deberemos concluir que (6) es verdadero. Ahora bien:

(7) Yo no rezo.

Pero si analizamos el condicional en términos del condicional material, ¡se sigue de (6) y (7) que Dios no existe!

Para ver por qué, consideremos el consecuente del condicional (6):

(8) No es cierto que, si yo rezo con devoción, mis oraciones serán ignoradas.

Este enunciado constituye la negación de:

(9) Si yo rezo con devoción, mis oraciones serán ignoradas,

que es verdadero si y solo si, o bien «yo rezo con devoción» es falso, o bien «mis oraciones serán ignoradas» es verdadero. Dado que (7) es cierto, se sigue que (9) es verdadero y, por ende, que (8) es falso.

Ahora bien, (6) es verdadero si y solo si, o bien «Dios existe» es falso, o bien (8) es verdadero. Y, puesto que (8) no es verdadero, se sigue que, si damos (6) por cierto, la verdad de (7) implica que «Dios existe» es falso; es decir, que Dios no existe.

Lo que acabamos de demostrar carece por completo de sentido. Si bien puede que exista un argumento convincente en contra de la existencia de Dios, resulta increíble que podamos establecer semejante conclusión a partir de hechos tan banales como (6) y (7).

Para evitar un resultado de apariencia tan absurda disponemos de dos opciones. La primera sería aceptar que el valor de verdad de un enunciado como (1) es una función del valor de verdad de (*Q*) y (*C*), solo que una diferente de la que nos dicta el condicional material. La segunda opción consistiría en renunciar a que el valor de verdad de (1) solo dependa del valor de verdad de (*Q*) y (*C*); en su lugar, sería también función de algún otro elemento.

¿Otra función de verdad?

La primera opción parece prometedora, pero realmente no lo es. Para verlo, consideremos la lógica impecable del siguiente argumento (donde $\sim P$ denota la negación de P).

Supongamos que es cierto que «o bien Mariana no leyó el *Quijote*, o bien Juan leyó el *Quijote*». En tal caso, se sigue que «si Mariana leyó el *Quijote*, entonces Juan leyó el *Quijote*» deber ser verdadero (en general, si una disyunción del tipo $\sim P \vee Q$ es verdadera, entonces el condicional «si P, entonces Q» también lo es).

Denotemos el nuevo condicional cuya tabla de verdad nos gustaría establecer mediante el símbolo *. El problema reside en que la única función de verdad no trivial que nos asegura que de $\sim P \vee Q$ se sigue $P * Q$ es el condicional material.

La demostración es sencilla. Supongamos que de $\sim P \vee Q$ se sigue $P * Q$. Ello implica que, tanto si P es falso como si Q es verdadero, entonces $P * Q$ es verdadero.

De modo que sabemos bastante sobre su tabla de verdad:

P	*Q*	*P*Q*
V	V	V
V	F	?
F	V	V
F	F	V

Solo nos falta determinar qué valor toma $P *Q$ cuando P es verdadero y Q es falso. Pero la respuesta solo puede ser «falso»: de lo contrario, $P *Q$ sería siempre verdadero con independencia de los valores de verdad de P y Q. Pero los enunciados del tipo «si P, entonces Q» no pueden ser siempre verdaderos pase lo que pase. Por tanto, si deseamos que $P *Q$ se corresponda con los enunciados condicionales que en el lenguaje natural formulamos como «si P, entonces Q», la tabla de verdad de * solo puede resultar idéntica a la del condicional material.

¿Una función más complicada?

Tal vez hayamos cometido un error al suponer que el valor de verdad de un enunciado como (1) solo depende de los valores de verdad de (Q) y (C). A fin de cuentas, sabemos que existen enunciados complejos cuyo valor de verdad no depende en exclusiva de los valores de verdad de los enunciados simples que lo componen. Por ejemplo, el valor de verdad de

(10) Tomás cree que Mariana leyó el *Quijote*

no es únicamente función del valor de verdad de (Q), ya que, por sí solo, este no basta para concluir si (10) es cierto o no. Por tanto, al igual que en (10), tal vez el valor de verdad de «si P, entonces Q» no dependa solo de los valores de verdad de P y Q, sino también de otras propiedades semánticas de dichos enunciados.

No toda función nos servirá. Una función que asigne el valor «verdadero» al enunciado «si P, entonces Q» sin importar qué establezcan P y Q no tendría mucho sentido. De hecho, podemos especificar tres requisitos mínimos que toda función > debería satisfacer para ser un buen candidato al condicional:

(G_1) Si P es verdadero y Q es falso, entonces $P > Q$ ha de ser falso.

(G_2) Si Q constituye una consecuencia lógica de P, entonces $P > Q$ es una verdad lógica.

(G_3) $P > (Q > R)$ resulta lógicamente equivalente a $(P\&Q) > R$.

Los tres requisitos parecen razonables. El tercero nos dice que, por ejemplo, los enunciados (a) y (b), al igual que (c) y (d), son equivalentes:

(a) Si Mariana leyó el *Quijote*, entonces, si Tomás cree que Mariana leyó el *Quijote*, Tomás tiene razón.

(b) Si Mariana leyó *Quijote* y Tomás cree que Mariana leyó *Quijote*, entonces Tomás tiene razón.

(c) Si la puerta está cerrada, entonces, si no hay un mensaje de Mariana, es que Mariana aún no llegó a casa.

(d) Si la puerta está cerrada y no hay un mensaje de Mariana, entonces es que Mariana aún no llegó a casa.

Pero, una vez más, podemos ver que el único condicional que satisface los requisitos (G_1) – (G_3) es el condicional material.

La demostración no reviste demasiada dificultad. Para empezar, observemos que si el condicional material $P \rightarrow Q$ es falso, entonces $P > Q$ también ha de ser falso. Esto se debe a que $P \rightarrow Q$ es falso si y solo si P es verdadero y Q es falso. Y, dado que > satisface (G_1), podemos concluir que, en tal caso, $P > Q$ es falso. Nótese que esto último implica, además, que $P \rightarrow Q$ es una consecuencia lógica de $P > Q$.

Observemos ahora que $(P \rightarrow Q)\&P$ tiene a Q como consecuencia lógica. De modo que podemos concluir, a partir de (G_2), que $((P \rightarrow Q)\&P) > Q$ es una verdad lógica. Y, dado (G_3), tenemos que $(P \rightarrow Q) > (P > Q)$ es una verdad lógica.

Ahora bien, como acabamos de ver más arriba, $(P \rightarrow Q) \rightarrow (P > Q)$ es una consecuencia lógica de $(P \rightarrow Q) > (P > Q)$ y, por tanto, es también una verdad lógica. Pero esto último quiere decir que, si $P \rightarrow Q$ es verdadero, entonces $P > Q$ también lo es.

En resumen, si $P \rightarrow Q$ es falso, entonces $P > Q$ es falso; y si $P \rightarrow Q$ es verdadero, entonces $P > Q$ es verdadero. Por tanto, si a un condicional que satisfaga (G_1) – (G_3) se le permite tomar un valor de verdad, la única posibilidad es que coincida con el condicional material.

Moralejas

Llegados a este punto disponemos de tres opciones. La primera es insistir en que el valor de verdad de un condicional coincida con el del condicional material correspondiente. La segunda consiste negar alguna de las tres condiciones (G_1) – (G_3). La tercera —la más radical— pasa por abandonar la idea de que un condicional como (1) tenga un valor de verdad.

La opción radical es realmente radical. Optar por ella involucraría adoptar una perspectiva muy diferente sobre nuestra manera de teorizar sobre el lenguaje. La explicación canónica de por qué es impecable concluir a partir de (1) y (Q) que Mariana leyó *Cien años de soledad* es que, siempre que (1) y (Q) sean verdaderos, también debería serlo (C). Pero si (1) no es nunca verdadero, necesitamos una explicación diferente de la validez de la regla de *modus ponens*.

Vale destacar que, si aceptásemos la posibilidad de que los enunciados condicionales pudiesen no ser verdaderos ni falsos, no serían los únicos enunciados del castellano con dicha propiedad. Por ejemplo:

(11) ¿Cuál es el libro favorito de Mariana?

A diferencia de (Q), (11) no es un enunciado que pueda tomar un valor de verdad. En general, al emplear un enunciado como (Q) buscamos impartir información a nuestros oyentes. En cambio, al utilizar (11) no pretendemos comunicar información: al contrario, cuando formulamos una pregunta buscamos obtener la respuesta correcta.

En general, los enunciados que poseen un valor de verdad se usan para impartir información. En cambio, los enunciados sin valor de verdad desempeñan diferentes funciones. Algunos, como (11), se emplean para obtener información. Otros, como

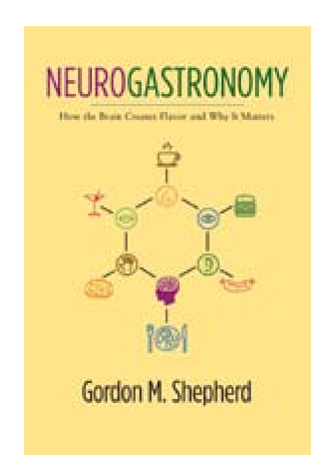
(12) ¡No dejes de leer el *Quijote*!

persiguen un objetivo distinto. Con todo, (12) es el tipo de enunciado al que no parece posible asignar un valor de verdad.

Tal vez la función de los enunciados condicionales no sea impartir información. Pero, si no lo es, ¿qué objetivo estamos persiguiendo cuando formulamos un enunciado como (1)?

PARA SABER MÁS

El resultado de la penúltima sección se debe a Allan Gibbard: **Two recent theories of conditionals**, págs 211-247 de *Ifs: Conditionals, beliefs, decision, chance, and time*, dirigido por W. L. Harper, G. A. Pearce y R Stalnaker (D. Reidel, 1981). Una discusión excelente y detallada de los diferentes análisis del condicional puede encontrarse en **On conditionals**, de Dorothy Edgington en *Mind*, vol. 104, págs. 235-329, 1995.



NEUROGASTRONOMY: HOW THE BRAIN CREATES FLAVOR AND WHY IT MATTERS

Por Gordon M. Shepherd. Columbia University Press; Nueva York, 2012.

Neurogastronomía

Función determinante del cerebro

Los lectores de *Investigación y Ciencia* han disfrutado con las páginas de quimiogastronomía firmadas por Hervé This, autor de una celebrada *Molecular gastronomy*: *exploring the science of flavor,* animador de semanas y simposios internacionales sobre la materia y redactor de la edición francesa de *Scientific American* durante muchos años. Inspirador de este libro del profesor de neurobiología de la facultad de medicina de Yale y antiguo director del *Journal of Neuroscience*, escribe ponderándolo: «¿Los fogones? Por encima de todo es cuestión de amor, luego arte, después técnica. Chefs y amantes de la buena mesa pueden beneficiarse de un mayor conocimiento de los factores que intervienen en el proceso culinario, del huerto al tenedor. De ahí la importancia del aroma y la justificación del título de esta obra de Gordon M. Shepherd». A Shepherd se le reconocen valiosas aportaciones al dominio de los microcircuitos cerebrales, sintetizadas en su ahora clásico *The synaptic organization of the brain*. Entre esos microcircuitos, el de la olfacción reviste interés para la percepción del olor.

Nos alimentamos, con frecuencia diaria, movidos por un apetito que está regulado por hormonas, que lo activan cuando tenemos hambre y lo inactivan cuando quedamos satisfechos. Tal regulación endocrina no explica por qué nos gustan unos alimentos y otros no, por qué ansiamos lo que nos deja buen sabor o rechazamos lo desabrido. Para responder a las cuestiones de ese tenor se está creando una nueva disciplina, centrada en los aromas de los alimentos. Pero conviene aclarar conceptos y despejar errores. De estos, uno muy extendido afirma que los alimentos contienen los aromas. Lo cierto es que los alimentos contienen las moléculas de los aromas; los aromas, en cuanto tales, son creaciones de nuestro cerebro. Por eso de ellos se ocupa la neurogastronomía, que nos describe de qué modo el sistema cerebral del aroma, quizás el más extenso, crea percepciones, emociones, recuerdos, conciencia, lenguaje y decisiones.

Avanzados los ochenta, la comunidad científica aceptaba todavía que el olfato había perdido importancia para la supervivencia a favor de la vista cuando nuestros antepasados comenzaron a caminar erguidos. Shepherd está ayudando a cambiar de opinión: cuanto más se acerca a la mesa la investigación, mejor nos percatamos de que los placeres reales de la vida se hallan ligados al olfato. Se había venido preparando el terreno: desde la anatomía de la digestión, que explica la masticación y absorción de los alimentos; desde la fisiología, que analiza el transporte de los olores hasta las células sensoriales mediante la inspiración y la espiración; desde la psicología, que estudia la combinación de olor y sabor para producir lo que aquí denominamos aroma, una de las sensaciones más complejas; desde la neurociencia cognitiva, que usa la técnica de formación de imágenes para demostrar la aparición del aroma a partir de la actividad de los niveles cerebrales superiores; desde la neurofarmacología, que aborda la excitación de determinadas áreas del cerebro por el ansia de comer, las mismas estructuras que se activan con el deseo de tabaco, alcohol o drogas; desde la bioquímica, que detalla las hormonas circulantes en el torrente sanguíneo que despiertan el hambre; desde la antropología, que explica por qué la cocción del alimento constituyó el motor de la evolución; desde la biología molecular, que descubre que los receptores sensoriales del olor forman la familia más extensa de genes de nuestro acervo y desentrañan el origen molecular de nuestra percepción de los olores; por fin, desde la etología, que muestra cómo monos y humanos poseemos un sentido del olfato muy fino.

De todas esas aportaciones de fuentes diversas se desprendía que la percepción del aroma no se debe a la inhalación, sino a la espiración y retorno por las vías nasales, mientras masticamos y deglutimos. A ese proceso se le llama olor retronasal. El sentido del gusto, si lo definimos con precisión, consta de sensibilidad solo para con lo dulce, salado, amargo, agrio y umami. El olor retronasal constituye, en cambio, la nueva frontera para el estudio de la creación cerebral del sentido del aroma. Los sabores elementales se perciben desde el nacimiento, mientras que los olores retronasales se aprenden y quedan abiertos a las diferencias individuales.

La propia investigación realizada por Shepherd ha llevado a la conclusión de que la inhalación genera una pauta espacial de actividad en el cerebro, pauta que opera como imagen del olor, variable según este, a la manera en que cada rostro forma una imagen distinta en nuestro sistema visual. El cerebro reconoce las pautas. Añádase, además, que el hombre ha desarrollo un cerebro voluminoso. Aunque nuestro aparato sensorial no posea tantas moléculas o células receptoras como otros mamíferos, ello no empece que poseamos un poderoso sentido del olor. Ese cerebro grande que nos permitió adquirir el lenguaje es el que nos faculta para desarrollar un extraordinario sentido del aroma. Ese nivel elevado de procesamiento (donde se incluyen sistemas para la memoria, emoción, cognición y lenguaje) nos concede un sistema cerebral único del aroma. En este, el papel principal se reserva para el olor.

En una fase inicial, los sistemas sensoriales que intervienen en el aroma transforman las representaciones sensoriales individuales para constituir la sensación del aroma. Se parte de los cinco sentidos, que reciben sus estímulos en sus receptores y los convierten en representaciones neurales. El olfato forma, en el sistema límbico prosencefálico, recuerdos olorosos, pues tienen acceso directo a los sistemas cerebrales de la memoria y la emoción. La corteza olfatoria se proyecta ulteriormente a la corteza orbitofrontal, donde establece conexión con los centros superiores de las capacidades, exclusivas del hombre, del juicio y la planificación. Las vías del gusto llegan al tronco cerebral, para proceder luego hasta sus áreas

corticales, donde interaccionan con otras representaciones sensoriales del núcleo del aroma. Los diferentes tipos de tacto que el alimento y la bebida activan en la boca se envían, a través de las vías del tacto, hacia el tronco cerebral, y de allí pasan al tálamo y sus áreas corticales receptoras y asociativas. La vista del alimento y la comida antes de que los consumamos activa la trayectoria visual que pasa a través del tálamo hacia las áreas visuales en la parte posterior del cerebro. Posee una influencia determinante sobre cómo juzgamos su aroma. El sonido, por fin, que emana de la masticación y deglución, se integra en la experiencia del aroma. Sabido es que la integración multisensorial se produce cuando la respuesta celular de una región a dos o más estímulos al mismo tiempo es más que la suma de las respuestas individuales. Hablamos entonces de supraadición. Con la alimentación se produce la activación simultánea de un conjunto común de regiones (córtex orbitofrontal, ínsula anterior, operculum y giro cingulado anterior), que configura la representación distribuida en nuestra mente de un objeto aromático. La imagen percibida crea la representación neural de un aroma recordado.

El sistema cerebral del aroma desempeñó un papel determinante en la evolución del hombre. Cinco tipos de pruebas lo avalan: el registro génico, la competición entre visión y olfacción, el aumento del volumen cerebral, la adaptación del sistema musculoesquelético a la búsqueda de alimento y el control del fuego y de la cocina. La disminución observada de genes receptores olfatorios en el hombre se vio compensada por el desarrollo del prosencéfalo, al que tiene acceso directo privilegiado la vía olfatoria. En otro orden, hace dos millones de años, ciertos grupos humanos salieron de África. Algunos llegaron a Indonesia en un tiempo corto (desde el punto de vista evolutivo). Ello pudo facilitar no solo la estatura erecta y el agrandamiento del cerebro, sino también los cambios esqueléticos que reflejan adaptaciones a grandes recorridos; entre dichas adaptaciones estarían fémures más largos, relaciones más flexibles entre el torso y las extremidades para posibilitar un mayor equilibrio en la carrera. A esas adaptaciones deben sumarse las vinculadas con la búsqueda de comida más apetitosa con hierbas y especias. Un episodio crítico fue el uso del fuego para elaborar la comida y aligerar el trabajo mandibular. La cocción facilita la socialización de los miembros del clan y cierta estructuración de la sociedad (fabricantes de cacharros de cocina, de útiles). A buen seguro los comentarios sobre el estado del alimento debía ser motivo de conversación en torno al fuego, su sabor. Lo que puso en relación lenguaje, olores y aromas.

—Luis Alonso



AGRICULTURE BIOLOGIQUE: ¿ESPOIR OU CHIMÈRE?

Por M. Dufumier, G. Rivière-Wekstein y Th. Doré. Éditions Le Muscadier; París, 2013.

Agricultura ecológica

Debate

¿Hay que decantarse por lo «bio»? En estos tiempos de escándalos sanitarios, de contaminación galopante y de desequilibrios ecológicos, esa pregunta agita las mentes. Hay quienes lo ven como la solución a todos estos problemas, mientras que otros denuncian la falsa esperanza de una agricultura ecológica incapaz de satisfacer las necesidades de una población que no para de crecer. Así pues, ¿es lo «bio» la panacea o una trampa?

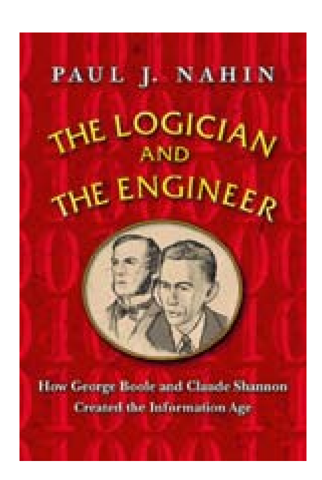
En un intento de dar una respuesta razonada a esa cuestión, este librito enfrenta dos posiciones contrapuestas: la de un partidario de lo «bio» (el agrónomo Marc Dufumier) y la de un crítico (el periodista especializado en agricultura Gil Rivière-Wekstein). De manera original, ofrece también la perspectiva que de estas dos posiciones tienen un mediador (el investigador en agronomía Thierry Doré). El resultado es doblemente interesante. En primer lugar, la idea de una confrontación, en la que los autores se responden y en la que interviene un mediador que intenta adoptar cierta amplitud de miras, permite evitar la simple yuxtaposición de opiniones. Nos hallamos ante un verdadero debate constructivo y una fórmula editorial interesante.

En cuanto al fondo, el libro tiene el mérito de presentar, de forma clara y concisa, algunas virtudes y defectos atribuidos a la agricultura ecológica. Las virtudes ya son bien conocidas, puesto que lo «bio» se define a menudo en oposición a los efectos dañinos de una agricultura intensiva que utiliza una gran cantidad de plaguicidas. Por tanto, sería mejor para la salud, no contaminaría el ambiente, favorecería la biodiversidad, etcétera. Pero el interés de la presentación de Dufumier reside sobre todo en que muestra que la agricultura ecológica, si se generalizase, sería una gran ayuda para los países del sur, ya que sufrirían menos la competencia desleal por parte de la agricultura «dopada» de los países del norte y estarían en mejores condiciones para responder ellos mismos a sus crecientes necesidades.

Como crítico de la agricultura ecológica, Rivière-Wekstein denuncia los orígenes reaccionarios de este tipo de cultivos (mediante la valorización del terruño y su rechazo a la modernidad), sus miedos irracionales hacia todo producto que proceda de la industria química o de laboratorios de genética, la utilización de plaguicidas contrariamente a lo que aseguran, etcétera.

En última instancia, el mediador solo puede constatar que Rivière-Wekstein «crítica menos [...] la agricultura ecológica en sí misma que su inserción social» y su rechazo, a veces excesivo, de la contribución de la química o de la genética. Incluso a los ojos de quien se presenta como adversario, la agricultura ecológica no parece una quimera si se la despoja de lo superfluo. En conjunto, una buena base de reflexión para un enfoque razonado de lo «bio».

—Thomas Lepeltier



THE LOGICIAN AND THE ENGINEER. HOW GEORGE BOOLE AND CLAUDE SHANNON CREATED THE INFORMATION AGE

Por Paul J. Nahin. Princeton University Press; Princeton, 2013.

Álgebra digital

La fecunda alianza del álgebra de Boole con la teoría de la información de Shannon

Con frecuencia, tendemos a considerar invenciones aisladas los adelantos técnicos. Pasan inadvertidas las bases matemáticas y científicas. Nahin muestra, recorriendo la historia intelectual de George Boole y Claude Shannon, que la conexión entre teoría y aplicación práctica resultó definitiva para el advenimiento del mundo moderno y preanuncio del futuro, computación cuántica incluida. El álgebra o lógica de Boole se encuentra en el corazón de la circuitería electrónica de los aparatos que utilizamos en la vida diaria. Para que el lector conozca el tema desde dentro, se hilvanan problemas lógicos que el este debe resolver y se traen a colación contribuciones clave de Georg Cantor, Tibor Radó, Marvin Minsky o Alan Turing.

George Boole nació en Lincoln, una ciudad del norte de Inglaterra, el 2 de noviembre de 1815. Dedicado al oficio de zapatero, su progenitor era un hombre afable y muy interesado en matemática, así como hábil constructor de instrumentos ópticos, entre ellos un telescopio, que puso en el escaparate de la tienda para uso y disfrute de los paseantes. Ayudado de su hijo, construyó también una cámara obscura. Su padre le enseñó, además, los rudimentos de la matemática, si bien la formación de Boole fue en buena medida autodidacta. A los dieciséis años se convierte en ayudante del maestro de una pequeña escuela de Doncaster. Compaginó este trabajo con el estudio asiduo de la matemática, con tal provecho que, andando el tiempo, podría entender el *Calcul des fonctions* y la *Mécanique analytique*, de Lagrange; la *Mécanique celeste*, de Laplace; los *Principia*, de Newton, y el *Traité de mécanique*, de Poisson. Según confesión propia, lo hizo con fuerza de voluntad, leyendo y releyendo hasta entenderlo.

Prosiguió sus estudios de matemática en otros lugares, donde se trasladó en busca de trabajo. Ganó dinero para levantar su propia escuela. Y, en 1838, se atrevió a escribir su primer ensayo: *On certain theorems in the calculus of variations*. A él le siguió otro de título ambicioso *Researches on the theory of analytical transformations, with special application to the reduction of the general equation of the second order*. Aparecieron en una revista recién fundada, el *Cambridge Mathematical Journal*, en la que iría publicando sus trabajos. En 1843 preparó *On a general method in analysis*, donde emplea álgebra simbólica, ecuaciones diferenciales y ecuaciones en diferencias. Con álgebra simbólica, Boole comenzó lo que sería la pieza central de su obra matemática: tratar las operaciones (pensemos en la diferenciación) como operadores simbólicos que pudieran manipularse como si fueran números. De ese modo, los operadores quedaban separados de sus argumentos. El trabajo se publicó en las *Transactions of the Royal Society of London*. Le supuso la Royal Medal al mejor trabajo matemático publicado en esa revista de prestigio entre junio de 1841 y junio de 1844. Desde ese hito, contó con el reconocimiento de la comunidad científica.

Siguió publicando sin solución de continuidad. En 1847 extiende su interés en álgebra simbólica desde lo puramente matemático hasta la lógica, reflejado en *Mathematical analysis of logic*, que se convertiría en el primer borrador de su obra maestra, *Investigation of the laws of thought*, que aparecería siete años más tarde (1854). En 1849, a sus 34 años, pese a no poseer títulos académicos, pero con el apabullante respaldo de su obra escrita y la medalla conseguida, fue nombrado catedrático de matemática del Queen's College de Cork. Desde el comienzo, la vida académica en Cork fue una carrera de éxitos. En 1852 la Universidad de Dublín le numera entre sus doctores honorarios. Cinco años después, fue elegido *fellow* de la Regia Sociedad de Londres y, en 1858, se le concedió el premio Keith. En 1859 difunde *A treatise on differential equations*; Oxford también le nombra doctor honorario. Al año siguiente publica un nuevo manual, *A treatise on the calculus of finite differences*. Murió de pulmonía a los cincuenta años no cumplidos.

An investigation of the laws of thought ejercería un impacto decisivo en el destino de la humanidad. La importancia de la obra de Boole no se apreció en su tiempo. Hubo que esperar casi un siglo, hasta 1938, en que hizo acto de presencia el matemático e ingeniero eléctrico Claude Shannon, quien publicó ese año un artículo famoso (basado en su tesis de licenciatura del MIT) sobre cómo aplicar la matemática de Boole en forma de relé eléctrico de conmutación de circuitos. Las ideas de Boole y Shannon, juntas, pavimentaron el camino de la era digital. El álgebra de Boole, o lógica matemática, se transforma, a través de Shannon, en la herramienta analítica rutinaria de los ingenieros que proyectan circuitos electrónicos, sin los cuales no podríamos ya vivir en nuestra sociedad de la información.

Claude Elwood Shannon nació el 30 de abril de 1916 en Petoskehy, Michigan. Desde muy pronto sintió una profunda atracción por desentrañar el funcionamiento de las cosas. Se aficionó a la aeromodelización, construyó barcos con guía de radiocontrol y proyectó un sistema telegráfico que conectaba su casa con la de un amigo a más de medio kilómetro de distancia. Se licenció en matemática y en ingeniería eléctrica. En la universidad conoció la lógica de Boole.

Encontró su primer trabajo en el departamento de ingeniería eléctrica del MIT, como ayudante de Vannevar Bush en su famoso analizador diferencial. Bush fue uno de los cerebros que pusieron la ciencia al servicio de la logística de guerra a principios de los cuarenta. El analizador diferencial electromecánico era en aquel tiempo el computador analógico más avanzado, capaz de resolver numéricamente ecuaciones diferenciales. Un circuito complejo de un centenar de relés controlaba el analizador. Shannon pasó el verano de 1937 en los Laboratorios Bell. Fue por entonces cuando tuvo la feliz idea de maridar el álgebra de Boole con los

circuitos eléctricos de conmutación. Y así pergeñó la tesis del máster en el MIT: «A symbolic analysis of relay and switching circuits», que se publicó en 1938 en las *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. Suele repetirse que aquella fue la tesis más importante de cuantas se han escrito en su género. Shannon recibió en 1940 el premio que las sociedades estadounidenses de ingeniería concedían al mejor trabajo sobre ingeniería publicado por jóvenes de menos de 30 años.

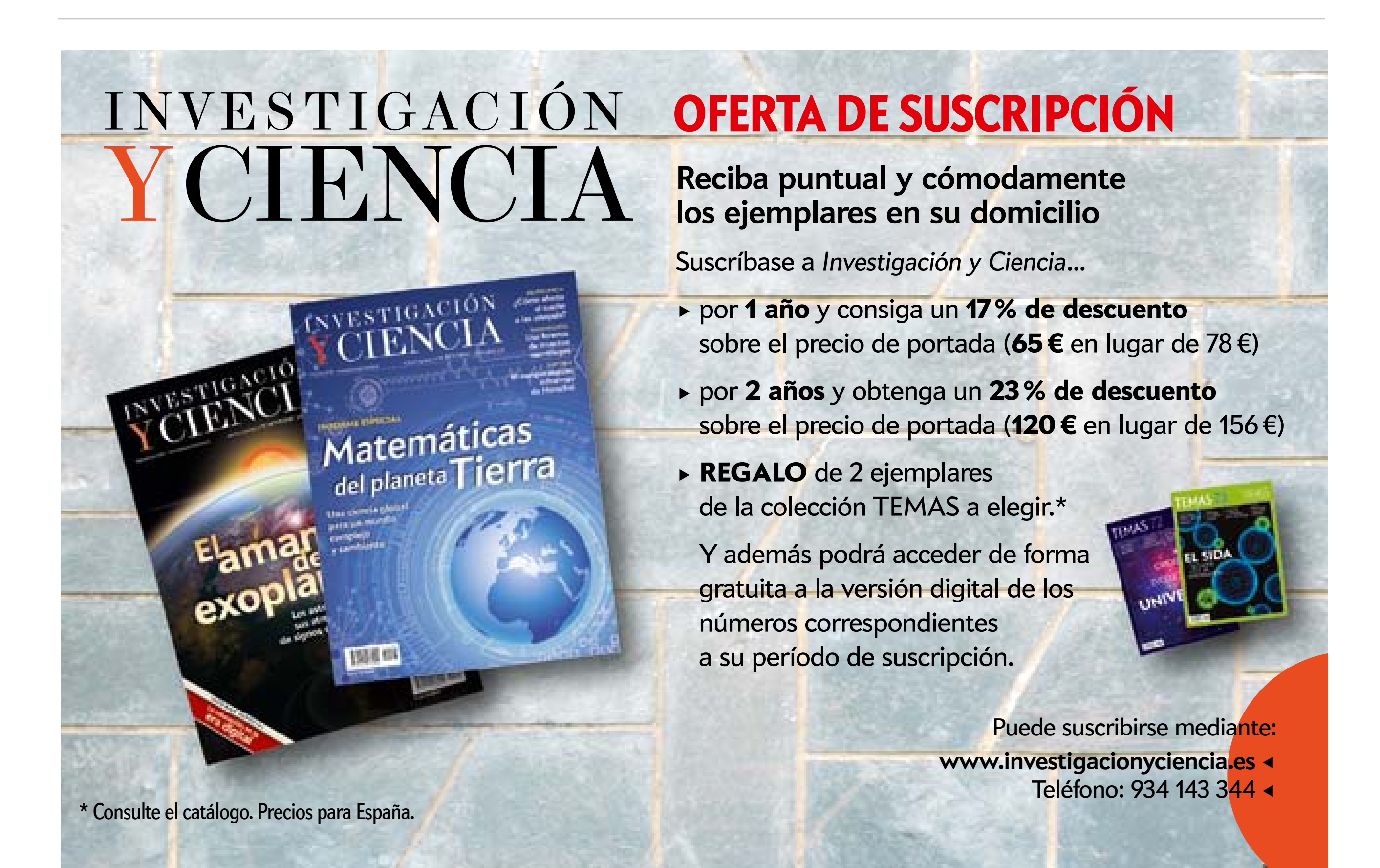
Defendida la tesis, Shannon se trasladó del departamento de ingeniería al de matemática en el MIT. Bush quería que el genio matemático mostrado por Shannon se aplicara a la genética. Y así Shannon pasó el verano de 1939 en Cold Spring Harbor, trabajando con Barbara Stoddard Burks. Ese trabajo le sirvió para elaborar su tesis de doctorado, *An algebra for theoretical genetics*. «Mi teoría —resume— se refiere a lo que sucede cuando tenemos todos los datos genéticos. Podríamos calcular el tipo de población que tendríamos después de un número determinado de generaciones.»

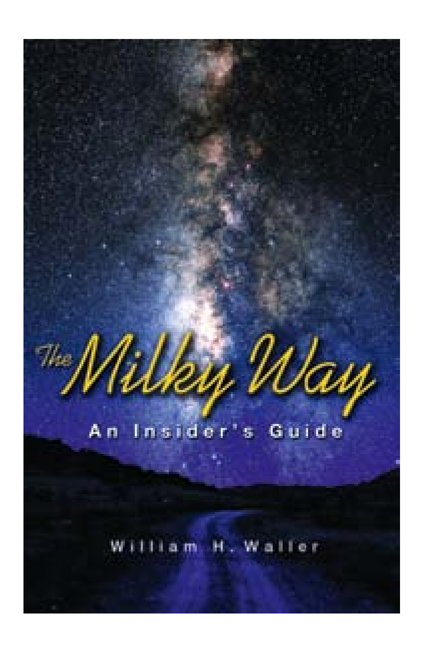
Shannon residió luego un año en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, donde trabajó con Hermann Weyl. Allí coincidió con John von Neumann y Albert Einstein. Y volvió a los Laboratorios Bell, donde pasó quince años de extraordinaria fecundidad, incluida la redacción de su texto principal, definido por *Scientific American* como la «carta magna de la edad de la información»: *A mathematical theory of communication*. Trabajó en defensa antiaérea y en criptografía, entrando en contacto con Alan Turing. Escribió un informe secreto, *A mathematical theory of cryptography*, desclasificado en 1949.

A mathematical theory of communication sacudió el mundo de la ingeniería. Escrito con claridad y libertad, muy alejado de la acostumbrada complejidad matemática, ahondaba en las nuevas interpretaciones de la entropía como información; ampliaba su rango de aplicación a la psicología, la lingüística, la música, la cartografía y la teoría de juegos. El punto central de esta tesis de 1948 era estudiar los límites teóricos de la transmisión de la información del punto A (fuente) al punto B (receptor) a través de un medio (canal). Se supone que la información es codificada antes de cursar a través del canal. Shannon considera dos tipos de canales: uno continuo y otro discreto. Propio del primer tipo sería transportar una señal continua (la voz humana); específico del segundo sería vehicular la salida de un tablero de ordenador en forma de una corriente digital de bits. Hasta tal punto caló la tesis de Shannon que en 1953 el Instituto de Radioingenieros creó un grupo profesional sobre teoría de la información con su propia revista, la *IRE Transactions on Information Theory*. El alzhéimer, que acabó con su vida en 2001, le impidió conocer uno de los frutos culminantes de su labor, la creación de la Red.

Para comprender la esencia de lo que Boole realizó sobre lógica algebraica, conviene recurrir al lenguaje de la teoría de conjuntos, el concepto de universo y los operadores que intervienen en dicho universo; las conectivas (así la intersección y la conjunción) y el cálculo de proposiciones con sus tablas de verdad. Por su parte, la circuitería digital actual se construye con una técnica electrónica que los ingenieros de teléfonos de los años treinta y los ingenieros pioneros de proyectos de computadores de los años cuarenta hubieran creído cosa de magia. La primera tecnología digital tomó la forma de relés electromagnéticos en las conmutaciones telefónicas. Vino luego la circuitería digital del tubo de vacío; llegaron después los transistores discretos, más tarde los circuitos integrados de transistores, después los DTL, TTL, ECL, CMOS, I^2L. Lo único que persiste es el fundamento matemático, el álgebra booleana. La instalación de los conmutadores en serie o en paralelo nos permite construir circuitos eléctricos lógicos *and* y circuitos eléctricos lógicos *inclusive-or*, respectivamente; el uso inteligente de contactos de conmutación nos permite crear la operación lógica *not*. Hoy, por supuesto, las puertas lógicas son de naturaleza electrónica.

—Luis Alonso





THE MILKY WAY. AN INSIDER'S GUIDE

Por William H. Waller. Princeton University Press; Princeton, 2013.

Astronomía

La Vía Láctea

Una más entre los millones incontables de galaxias que pueblan el cosmos, esta guía pormenorizada de la Vía Láctea sistematiza cuanto hoy sabemos sobre su estructura, génesis y evolución. De tipo espiral, debe su nombre a la apariencia blanquecina y lechosa de una banda de luz que cruza el firmamento, creada por innúmeras estrellas que ocupan el disco galáctico. Waller describe cómo se solidificó la Vía Láctea a partir de bolsas de gas y materia oscura para generar una estructura estelar en rotación con múltiples sistemas planetarios, algunos de los cuales pueden albergar miríadas de formas de vida y, tal vez, especies que han desarrollado la tecnología necesaria para la comunicación.

Los homínidos de la sabana africana disfrutaron de una visión de la Vía Láctea muy superior a la que podamos experimentar hoy. Y así sucedió durante cientos de milenios, con unos cielos secos y claros, exentos de contaminación lumínica. Los primeros registros del firmamento nocturno proceden de los monumentos megalíticos que han superado los arañazos del tiempo. Citemos el yacimiento de Newgrange (que se remonta a 3200 a.C.), el de Stonehenge (entre 3100 y 1600 a.C.) y las grandes pirámides de Egipto (entre 2500 y 1000 a.C.). La Piedra de la Rosetta contiene registros del firmamento con jeroglíficos asociados a Nut, diosa de los cielos, responsable del orto y del ocaso solar.

Una de las primeras referencias explícitas de la Vía Láctea procede de la Acrópolis de Micenas; aparece en un anillo de oro de la edad del Bronce (1400 a.C.). En Grecia coexistieron la interpretación naturalista de Demócrito con la mitológica. De acuerdo con la mitología, su origen nos retrotrae a la diosa Hera, mujer de Zeus, cuya leche mamaria concedía la inmortalidad a quien la tomara. Hera sufría las infidelidades constantes de Zeus y los hijos ilegítimos que de ellas resultaban. Entre esos hijos adulterinos, Hermes, hijo de la ninfa Maia, y Heracles, hijo de la mortal Alcmene. Mientras Hera dormía, Hermes puso al semimortal Heracles a los pechos de la diosa, con la intención de obtener la inmortalidad para el niño. Al despertarse, Hera le retiró bruscamente el pecho y se derramó la leche por el firmamento, formándose así la Vía Láctea.

El estudio científico de la galaxia se asentó en Occidente con la invención del telescopio óptico. A Hans Lippershey debemos la noticia inicial, en 1608. Los prototipos constaban de dos lentes: la receptora u objetivo, de forma convexa, y la ocular, de forma cóncava. En conjunción, ambas lentes formaban imágenes de objetos que revelaban detalles hasta entonces desconocidos. Galileo Galilei se apoyó en el potencial de los nuevos telescopios para su revolución de la astronomía. Desde los cráteres de la Luna hasta las tormentas solares, o los satélites de Júpiter y las fases cíclicas de Venus, Galileo explicaba un universo que difería del ptolemaico con sus planetas en órbita alrededor de la Tierra. Cuando apuntó su telescopio hacia Orión, las Pléyades y la Vía Láctea, quedó asombrado ante la presencia de miríadas de estrellas.

Se tardaron otros 145 años antes de poderse abordar la naturaleza estelar y nebular de la Vía Láctea. Nicolas Louis de la Caille presentó la primera lista de «nebulosas». Sirviéndose de un pequeño telescopio de refracción, descubrió y documentó 42 de esas apariciones fugaces. Muchas de sus observaciones las realizó durante un viaje al hemisferio sur, donde recogió también datos para un catálogo de 9776 estrellas. En 1745 publicó *Sobre las estrellas nebulosas del firmamento meridional*. Isaac Newton había ideado un telescopio reflector que constaba de un espejo cóncavo de metal, instalado en la base de un tubo cilíndrico hueco. El espejo recogía la luz incidente y la reflejaba hacia otro espejo que redirigía la luz a un ocular.

William Herschel, el principal instrumentalista y observador del momento, descubrió el planeta Urano en 1781 con un telescopio reflector de cuatro pulgadas. Su telescopio de 24 pulgadas de diámetro y 20 pies de longitud resultó ser el más adecuado para observar la Vía Láctea. A lo largo de siete años descubrió y catalogó 2000 nebulosas. Con su hermana Caroline creó el primer mapa cuantitativo de los cielos. El trabajo, continuado por John, hijo de William, condujo a la creación del *New general catalogue of non-stellar objects*, texto canónico que ha perdurado hasta nuestros días. Por su parte, Charles Messier compiló en 1784 una lista de 103 objetos nebulosos.

En paralelo al trabajo observacional, los filósofos de la segunda mitad del siglo XVIII y primera de la centuria siguiente avanzaron sus propios modelos cosmológicos. Thomas Wright publicó en 1750 *An original theory, or new hypothesis of the universe*, donde proponía que la Vía Láctea formaba parte de un cosmos moral mucho mayor con una fuerza vital espiritual en el centro. Immanuel Kant rechazó en su *Historia natural universal y teoría de los cielos*, publicada en 1755, que el centro del universo tuviera carácter espiritual. El Sol y los planetas del sistema solar se originarían por condensación a partir de una fina materia primordial. Sostenía que la Vía Láctea era un disco automantenido de estrellas que compartían una rotación circular. Atribuía las nebulosas de Messier a universos isla. Simon de Laplace transformó la percepción del cosmos galáctico en una dinamo. En *El sistema del mundo* estableció la hipótesis de la nebulosa, según la cual el Sol y los planetas eran

condensación de un disco en remolino de materia nebular.

A mediados del siglo XIX se compilaron extensos catálogos de estrellas del hemisferio norte y del hemisferio sur. Destacaron el *Bonner Durchsmusterung*, de 1861, y su complementario meridional *Cordoba Durchmusterung*, de 1892. Las observaciones del hemisferio norte y algo del sur se llevaron a cabo en el Observatorio de Bonn entre los años 1852 y 1859, recogiendo una cosecha de 320.000 estrellas por debajo de la décima magnitud (donde las estrellas más brillantes son de primera magnitud, las estrellas visibles más débiles a simple vista son de magnitud seis y las estrellas de décima magnitud son otras cuarenta veces más tenues). En el hemisferio sur se registraron las posiciones y las magnitudes visuales de 580.000 estrellas por astrónomos del Observatorio Nacional de Córdoba (Argentina).

Por entonces también, los científicos comenzaron a dirigir sus espectroscopios hacia las estrellas. William Huggins y William Allen Miller observaron los espectros de Rigel, Betelgeuse y Vega. Descubrieron que diferían enormemente en sus pautas espectrales. Observaron que la nebulosa de Orión presentaba líneas espectrales en emisión, no en absorción. Quedaba claro que esta nebulosa y otras estructuras similares eran nubes genuinas de gas luminoso, no cúmulos irresueltos de estrellas. Con estos trabajos pioneros nació la ciencia moderna de la astrofísica observacional. Al propio tiempo, despegaba la técnica química de la fotografía. El observatorio de Harvard acometió una inspección fotográfica del cielo. Se consiguieron 225.000 espectros estelares. En esa labor catalogadora destacaron las mujeres: Annie Jump Cannon, Williamina Fleming y Antonia de P. P. Maury. También estaba Henrietta Leavitt, que se integró en el *Plan of Selected Areas*, de Jacobus Kapteyn. El trabajo de Leavitt sobre estrellas variables le dio fama entre los grandes astrónomos del siglo XX. Identificó más de 1700 estrellas variables; las más brillantes de ellas eran las Cefeidas.

En su tesis doctoral, presentada en 1925, Cecilia Payne ponía de relieve las diferencias en los tipos espectrales para trazar la temperatura en superficie de las estrellas, en vez de apoyarse en su composición química. Las estrellas constaban sobre todo de hidrógeno (un 75 por ciento de su masa) con algo de helio (23 por ciento) y un residuo de otros elementos que se hacen manifiestos en los espectros. En menos de 40 años, los estudios espectroscópicos permitieron comprender las series estelares en términos de temperatura, luminosidad y composición química. La piedra de la Rosetta de ese desciframiento estelar fue el diagrama Hertzsprung-Russell [*véase* «La tabla periódica de las estrellas», por Ken Croswell; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2011]. Relacionando la temperatura de la estrella con su luminosidad global, Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell hallaron familias entre las estrellas. La mayoría de estas caen a lo largo de la secuencia principal, donde se inscriben el Sol, Vega, Sirius y Rigel.

En ese primer tercio de siglo, los estudios espectroscópicos le permitieron a Edwin Hubble discriminar entre objetos realmente nebulosos de la Vía Láctea y los conjuntos estelares que él sospechaba se encontraban mucho más lejos. Encontró 35 cefeidas en Messier 33 y 11 en NGC 6822. Las distancias y tamaños correspondientes de esos sistemas le mostraban que constituían otras Vías Lácteas, a las que Harlow Shappely llamó más tarde «galaxias».

Los astrónomos han conjuntado las observaciones realizadas en ambos hemisferios y han creado mapas completos de la Vía Láctea. Se establece un sistema natural de coordenadas galácticas cuya longitud se mide a lo largo del ecuador y cuya latitud corre perpendicular al ecuador, positivamente hacia el polo norte galáctico y negativamente hacia el polo sur galáctico. El punto cero para el sistema de coordenadas galácticas se encuentra en la constelación de Sagitario. Su posición exacta ha ido cambiando con los años, a medida que los astrónomos han ido conociendo mejor el verdadero centro galáctico y su precisa ubicación en el firmamento.

El disco estelar, sutil y ligeramente circular, se ofrece a nuestra observación como una banda que cruza el cielo nocturno. Las bolsas oscuras de esa trayectoria corresponden a concentraciones de polvo y gas. El disco estelar se desdobla en un disco fino, o delgado, y otro grueso. El fino, de unos 500 parsec de altura, aloja el 95 por ciento de las estrellas y todas las estrellas jóvenes, masivas; se halla englobado en un disco más grueso, de unos 1500 parsec de altura. Las estrellas del disco grueso son más antiguas que las estrellas del disco fino y más pobres en elementos pesados. Las estrellas del disco giran en órbita cuasi-circular, a una velocidad de 200 kilómetros por segundo. La luminosidad del disco es de unas $15-20 \times 10^9$ luminosidades solares. La masa de las estrellas, de unas 6×10^{10} masas solares.

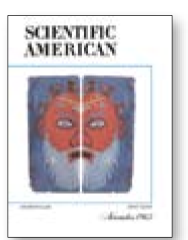
Incluidos dentro del disco estelar se hallan los brazos espirales, resultado de patrones espirales de ondas de densidad. Varias son las pruebas observacionales que avalan este modelo de densidad de onda: las estrellas de gran masa, de vida corta, se aprecian sobre todo en los brazos espirales; las de masa media, de una longitud de vida moderadamente larga, aparecen detrás de los mismos; las poco masivas (como el Sol) viven mucho y se perciben por todo el disco. El gas y el polvo se concentran en una capa más fina que la estelar. El disco de gas se vacía hacia el centro de la galaxia.

El bulbo y los discos de la galaxia se hallan incluidos en un halo toscamente esférico, que da cobijo a viejas poblaciones estelares y cúmulos globulares. Constituidos en los inicios de la historia de la galaxia, estos cúmulos son sistemas estelares compactos que contienen unos 10^5 estrellas. Las estimaciones recientes de los más antiguos ofrecen edades de unos 12.000 millones de años; ofrecen, pues, un límite inferior a la edad del universo. Ni las estrellas ni los cúmulos globulares del halo presentan ninguna rotación sistémica en torno al centro; desarrollan frecuentes órbitas excéntricas. El halo aporta solo una pequeña fracción a la luminosidad y masa de la galaxia, aunque la masa total de esta sea, en parte notabilísima (más del 85 por ciento), materia oscura del halo.

Aunque no se han encontrado pruebas sólidas de la existencia de vida fuera de la Tierra, sabemos que se requiere una galaxia para propiciar las condiciones exigidas en la emergencia de una vida compleja. En órbita en torno a una estrella irrelevante, nuestro planeta y el resto del sistema solar se forjaron después de que una larga evolución química hubiera procedido en la Vía Láctea para producir una estructura rocosa con un núcleo magnético de hierro, un océano de agua y una atmósfera de nitrógeno, carbono y oxígeno. La Tierra debe su linaje químico a miles de generaciones de estrellas masivas que vivieron y expiraron mucho antes del nacimiento del sistema solar, hace unos 4600 millones de años.

—Luis Alonso

Recopilación de Daniel C. Schlenoff

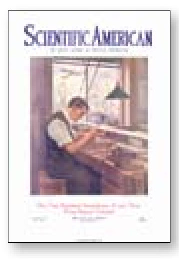


Noviembre 1963

Visión y cerebro

«Casi todas las partes del sistema nervioso son demasiado intrincadas y no dejan ver nada acerca de su función. Una manera de salvar esa dificultad consiste en registrar los impulsos mediante microelectrodos en animales anestesiados, primero de las fibras que llegan a una estructura de neuronas y luego de las mismas neuronas o de las fibras que salen de ellas. La comparación entre el comportamiento de las fibras aferentes y eferentes proporciona una base para averiguar la misión que desempeña cada estructura. Mediante la exploración de las diferentes partes del cerebro implicadas en la visión cabe esperar que podamos formarnos una idea acerca de cómo funciona todo el aparato visual. Esa es la tarea que hemos acometido Wiesel y yo, principalmente a través del estudio del sistema visual del gato. —David H. Hubel»

Hubel compartió con Torsten Wiesel el premio Nobel de medicina de 1981 por estas investigaciones.



Noviembre 1913

Los diez inventos más relevantes entre 1888 y 1913

Scientific American organizó un concurso de ensayos sobre los «diez inventos más relevantes de nuestro tiempo», definido este como los 25 años anteriores a 1913.

«No hubo dos participantes que eligieran el mismo conjunto de inventos. De hecho, solo uno, el telégrafo sin hilos, fue unánimemente reconocido entre los diez más importantes. El aeroplano recibió un voto casi unánime. Pero fuera de estos dos, no hubo el menor vestigio de unanimidad. Se detalla a continuación el resultado en cifras porcentuales:

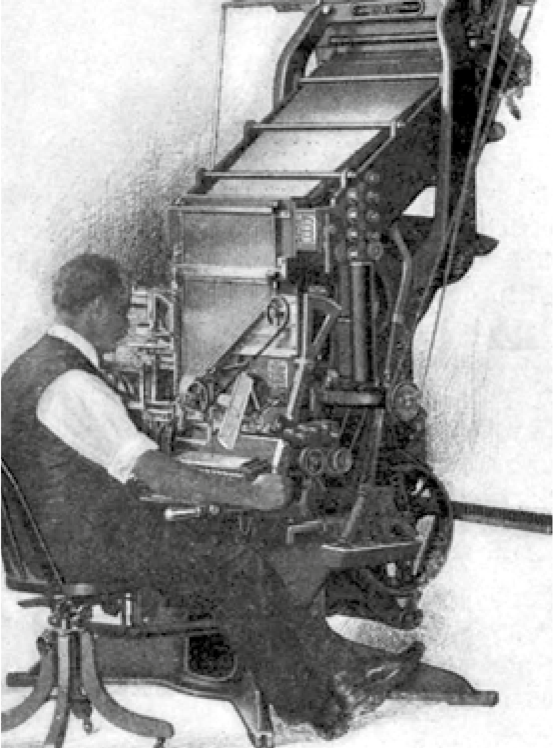
Telegrafía sin hilos: 97 %
Aeroplano: 75 %
Aparato de rayos X: 74 %
Automóvil: 66 %
Cinematógrafo: 63 %
Hormigón armado: 37 %
Fonógrafo: 37 %
Lámpara eléctrica incandescente: 35 %
Turbina de vapor: 34 %
Coche eléctrico: 34 %»

La linotipia (véase la ilustración) *ocupó el vigésimo puesto.*



Darwin y Wallace

«Acaba de fallecer Alfred Russel Wallace. En una carta a Joseph Hooker en 1858, Thomas Henry Huxley escribe: “el ímpetu de Wallace parece haber hecho ganar solidez a Darwin, y me alegra saber que al fin conoceremos sus opiniones. Deseo con fervor que tenga lugar una gran revolución”. La comunicación de Wallace sirvió ciertamente para acelerar los trabajos de Darwin; pero resultaría un grave error suponer que la contribución de Wallace se hubiera limitado a alentar a Darwin. No cabe duda alguna de que si Darwin no hubiera ofrecido al mundo la teoría de la selección natural, Wallace lo habría hecho en su lugar.»



COMPOSICIÓN: Último modelo, de 1913, de la máquina de componer tipos Mergenthaler. Como invención es equiparable «a los tipos móviles y a la prensa de imprimir».

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. CIX, N.º 18, 1 DE NOVIEMBRE DE 1913



Noviembre 1863

Comercio petrolífero

«Durante el transporte del petróleo de un lugar a otro, o cuando se mantiene en almacenes o cobertizos, parte del líquido se vaporiza en el recipiente que lo contiene. Se produce así no solo una pérdida de líquido, sino que cuando ese vapor se escapa y se mezcla con ocho veces su volumen de aire se torna tan explosivo como la pólvora; si entonces entra en contacto con la llama de una cerilla o de una lámpara se producirá una violenta explosión. Varias balandras cargadas con petróleo han sufrido explosiones y hace poco se ha registrado un accidente similar en un gran establecimiento farmacéutico de Albany (Nueva York). Casos como esos reclaman medidas preventivas, tales como recipientes que impidan las fugas y lugares de almacenamiento especiales.»

Y ahora lea esto

«No compre periódicos, ni lea ninguno del tipo que sea. Si oye a otras personas discutir acerca de esta o aquella gran batalla, pregunte estúpidamente de qué se trata. Emule a Rip Van Winkle; empape sus sentidos en el olvido moral y mental y no haga caso de cuanto pasa a su alrededor. Si tiene hijos no les lleve periódicos; dígales que “aprender en libros no trae cuenta”. Puede que así se ahorre dos o tres dólares —lo que cuesta un periódico— y pierda 500 o 5000 dólares por no estar informado sobre los mercados, la oferta y la demanda, y un millar de cosas más tan esenciales como la luz o el aire para cualquier hombre emprendedor.»



COSMOLOGÍA

Detección de ondas gravitacionales

Ross D. Andersen

Los astrónomos podrán pronto observar las primeras fases de la historia del tiempo.

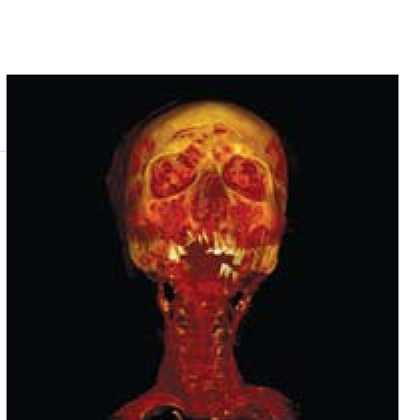


EVOLUCIÓN

La longevidad humana

Heather Pringle

El estudio de genomas modernos y de momias está ayudando a comprender por qué la esperanza de vida de *Homo sapiens* es mayor que la de otros primates.





ENERGÍA

Energía nuclear: el nuevo imperio ruso

Eve Conant

La Federación está dinamizando sus ventas de reactores a escala mundial, despertando inquietudes acerca de la seguridad.



INFORME ESPECIAL
ESTADO DE LA CIENCIA GLOBAL 2013

El futuro de la financiación

David J. Kappos

Nuevas formas de I+D

Lee Branstetter, Guangwei Li y Francisco Veloso

El Índice Global de Innovación 2013

La redacción

La transferencia de tecnología en México

Erik Vance

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
DIRECTORA GENERAL
Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL
Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza,
Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz, Carlo Ferri
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón,
Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado,
Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN
SENIOR VICEPRESIDENT AND EDITOR IN CHIEF Mariette DiChristina
EXECUTIVE EDITOR Fred Guterl
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
MANAGING EDITOR, ONLINE Philip M. Yam
DESIGN DIRECTOR Michael Mrak
SENIOR EDITORS Mark Fischetti, Christine Gorman,
Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong
ART DIRECTOR Jason Mischka
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Steven Inchcoombe
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek
VICE PRESIDENT AND ASSOCIATE PUBLISHER, MARKETING AND BUSINESS DEVELOPMENT
Michael Voss

DISTRIBUCIÓN
para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid)
Tel. 916 657 158

para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Barcelona
Aptitud Comercial y Comunicación S. L.
Ortigosa, 14 - 08003 Barcelona
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243
publicidad@investigacionyciencia.es

Madrid
NEW PLANNING
Javier Díaz Seco
Tel. 607 941 341
jdiazseco@newplanning.es

SUSCRIPCIONES
Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Tel. 934 143 344 - Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	65,00 €	100,00 €
Dos años	120,00 €	190,00 €

Ejemplares sueltos: 6,50 euros

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.



COLABORADORES DE ESTE NÚMERO
Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *Claves de la alimentación*; Sara Arganda: *Adicción a la comida*; José Manuel Vidal Donet: *¿Cuántas calorías aportan los alimentos?*; Mercè Piqueras: *Erradicar la obesidad* y *Agricultura ecológica*; Claudi Mans: *Millones de años de comida procesada*; Andrés Martínez: *El primer asado* y *Tierra prodigiosa*; Noelia de la Torre: *La mente de los vegetarianos*; Alfonso Susanna: *Cultivos transgénicos: sigue el debate*; Joandomènec Ros: *Un ensayo agrícola a gran escala*; Alfredo Marcos: *Filosofía de la ciencia*; Luis Cardona: *El cambio climático se sienta a la mesa*; Ana Fernández del Río: *El tamaño de un átomo*; Ramón Muñoz Tapia: *Taller y laboratorio*; J. Vilardell: *Hace...*; Bruno Moreno: *Apuntes*

Copyright © 2013 Scientific American Inc.,
75 Varick Street, New York, NY 10013-1917.

Copyright © 2013 Prensa Científica S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B-38.999-76

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. N-II, km 600
08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España